Beiträge
zur Kenntnis des Einflusses des Drahtziehens auf die Eigenschaften von Flusseisendrähten, speziell auf deren Festigkeit und Biegbarkeit.

Von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Hermann Altpeter** aus Metz i. L.

z. Zt. in Gleiwitz O. S.

Referent:
Professor **O. Simmersbach.**

Korreferent:
Dozent Dr.-Ing. **Oberhoffer.**

Tag der mündlichen Prüfung: 22. März 1913.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H.
1914.

52918.

Beiträge

zur Kenntnis des Einflusses des Drahtziehens auf die Eigenschaften von Flusseisendrähten, speziell auf deren Festigkeit und Biegbarkeit.

Von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Hermann Altpeter** aus Metz i. L.
z. Zt. in Gleiwitz O. S.

Referent:
Professor **O. Simmersbach.**

Korreferent:
Dozent Dr.-Ing. **Oberhoffer.**

Tag der mündlichen Prüfung: 22. März 1913.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H.
1914.

Referent: Professor **O. Simmersbach**
Korreferent: Dozent Dr.-Ing. **Paul Oberhoffer**

VORWORT.

Die Anregung zur vorliegenden Arbeit gab ein Aufsatz Schuchart's d. Aelt. in „Stahl und Eisen“ 1908, Seite 945 — Untersuchung der Biegbarkeit von Drähten —. Ohne dessen Verdienste irgendwie schmälern zu wollen, glaubt doch Verfasser, durch seine Untersuchungen in diese bislang noch wenig in der Literatur behandelten Fragen etwas mehr Klarheit gebracht zu haben, und zwar besonders in bezug auf die Wechselbeziehungen zwischen Bruchfestigkeit und Biegezahl. Es lag in der Natur des gewählten Gegenstandes, daß die Versuche auch auf die anderen, durch den Ziehprozeß beeinflußten Eigenschaften gezogener Drähte ausgedehnt wurden.

Es sei an dieser Stelle nochmals gestattet, Herrn Professor Simmersbach und Herrn Dr.-Ing. Oberhoffer ergebensten Dank aussprechen zu dürfen für das rege Interesse, welches sie vorgenannten Untersuchungen im metallographischen Laboratorium der Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau entgegenbrachten.

Verfasser vermied aus gewissen Gründen, irgendwelche betriebliche Mitteilungen in seiner Arbeit zu veröffentlichen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549813_0058

Die Kenntnis der Vorgänge beim Drahtziehen hat im letzten Jahrzehnt durch die Untersuchungen von Stribeck,* Heyn,** Goerens,§ Seyrich§§ u. a. eine außerordentliche Bereicherung erfahren. Die in wissenschaftlichen Kreisen allgemein bekannten Arbeiten dieser Forscher enthalten zwar eine Fülle von Tatsachen, die für die Drahtfabriken und ähnliche gewerbliche Betriebe von unschätzbarem Wert sind, von denen aber zum Teil noch wenig profitiert wird. In vorliegender Arbeit wurde der Versuch unternommen, eine Reihe der bisher über die Vorgänge beim Drahtziehen gefundenen Gesetze über die Veränderung der wichtigsten Materialeigenschaften an Hand von Versuchen speziell für Flußeisen zusammenzustellen und, soweit möglich, für die Praxis dienstbar zu machen. Es wurde zunächst die Gefügeveränderung untersucht, im Anschluß daran die Löslichkeit gezogener Drähte in verdünnten Säuren nochmals geprüft, und vor allem die dabei auftretenden, für die Praxis wichtigsten Gesetzmäßigkeiten über die Veränderung der Bruchfestigkeit und der Biegezahlen einer eingehenden Betrachtung unterzogen. Es gelang, für die Veränderungen von Bruchfestigkeit und Biegezahlen durch den Ziehprozeß ein graphisches Verfahren anzugeben, das ohne große Schwierigkeiten für ein und dasselbe Drahtmaterial diese für die Qualitätsprobe wichtigen Werte von vornherein ungefähr festzulegen gestattet. Hand in Hand mit diesen Versuchen über den Einfluß des Ziehprozesses auf Gefüge, Löslichkeit, Bruchfestigkeit usw. gezogener Drähte gingen auch solche über die Veränderung der Härte. Ehe aber auf die Erläuterung der Gesetze eingegangen wird, nach denen sich diese Veränderungen vollziehen, sollen zunächst der Vorgang des Drahtziehens vergegenwärtigt und die dabei auftretenden Erscheinungen ins Auge gefaßt werden.

Bekanntlich wird der Draht beim Ziehprozeß gezwungen, durch ein Zieheisen zu gehen, d. h. er wird unter Ausübung eines gleichmäßigen Zuges durch ein in einer Stahlplatte befindliches konisches Loch gezogen. Dabei erleidet er auf Kosten seiner Dehnbarkeit eine Querschnittsverminderung bei gleichzeitiger Zunahme in der Längsrichtung. Dieser Prozeß beginnt mit einem Walzdraht von gewissem Durchmesser und wird zwecks Herstellung von Drähten schwächeren Durchmessers mehrere Male wiederholt. Man nennt die einzelnen Phasen des Drahtziehens Züge. Wie groß jeweils die Querschnittsverminderung bei den einzelnen Zügen sein darf und wieweit überhaupt dieses Verfahren getrieben werden kann, hängt von der Qualität und Gleichmäßigkeit des verwendeten Walzdrahtmaterials ab. Im allgemeinen richten sich die Drahtziehereien nach der westfälischen und englischen BWG-Drahtlehre. Wurde das Ziehen nicht zu weit getrieben — das Material, fachmännisch gesagt, nicht überzogen —, so kann durch sachgemäßes Ausglühen dem Draht seine ursprüngliche Dehnbarkeit wieder erteilt und er dem Ziehprozeß von neuem wieder unterworfen werden. Die in den Drahtfabriken meist schon seit einer langen Reihe von Jahren geübte Praxis des Drahtziehens hat bestimmte Abnahmeverhältnisse gezeitigt, so daß im allgemeinen wohl kaum von einem Ueberziehen des Drahtmaterials in der Praxis gesprochen werden kann. Dagegen wird der Einfluß einer sachgemäßen Einschaltung von Glühungen oft noch viel zu wenig gewürdigt. Heyn,* Goerens**

* R. Stribeck: Kaltbearbeitung und Zugversuch. Z. d. V. d. I. 1909, S. 241.

** E. Heyn: Die Umwandlung des Kleingefüges bei Eisen und Kupfer durch Formänderungen in kaltem Zustande und darauffolgendes Ausglühen. Z. d. V. d. I. 1900, S. 433.

§ P. Goerens: On the Influence of Cold-Working and Annealing on the Properties of Iron and Steel. Reprinted from Carnegie Scholarship Memoirs. London, Office of the Institute 1911.

§§ K. A. Seyrich: Ueber die Einwirkung des Ziehprozesses auf die wichtigsten technischen Eigenschaften des Stahls. Dissertation, Dresden 1911.

* E. Heyn: Die Umwandlung des Kleingefüges bei Eisen und Kupfer durch Formänderungen im kalten Zustande und darauffolgendes Ausglühen. Z. d. V. d. I. 1900, S. 438.

** P. Goerens: On the Influence of Cold-Working and Annealing on the Properties of Iron and Steel. Abdruck aus Carnegie Scholarship Memoirs No. III for 1911. London, Offices of the Institute, S. 379 ff.

und letzthin auch Percy Longmuir§ haben sich eingehend mit der Frage des Glühens gezogener Drähte beschäftigt. Während ersterer vor allem die Normalisierung des Gefüges durch das Glühen feststellte, konnten letztere praktisch sehr wertvolle Winke für die richtige Einschaltung der Glühen und die geeignetste Glühtemperatur erteilen. Nach dieser Richtung sind in dieser Arbeit keine Versuche angestellt worden, es muß vielmehr auf die Werke der obengenannten Fachschriftsteller verwiesen werden. Es sei nur gestattet, hier nochmals auf die von Longmuir mehrfach hervorgehobene Tatsache hinzuweisen, daß das Glühen des Walzdrahtes nach dem Walzprozeß für die Erzielung von Qualitätsdrähten sehr wichtig ist. Durch die Einschaltung einer Glühe vor Beginn des Ziehprozesses werden

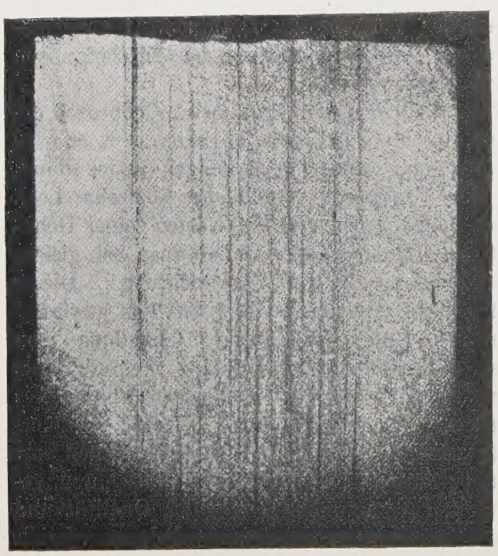

Abbildung 1a.
Probe A.
Seigerung. (Längsschnitt von Draht 7,9 mm ⌀.)

Abbildung 1b.
Probe A.
Seigerung. (Querschnitt von Draht 7,9 mm ⌀).

nämlich die durch ungleichmäßiges und unzweckmäßiges Erhitzen und Abkühlen während des Walzens erzeugten Ungleichmäßigkeiten aufgehoben und ein Material von großer Gleichmäßigkeit erzeugt. Wie Longmuir gezeigt hat, wird es dadurch nicht nur ermöglicht, größere Querschnittsabnahmen bei den einzelnen Zügen anzuwenden, sondern auch das Ziehen ohne Einschaltung einer weiteren Zwischenglühe außerordentlich weit treiben zu können. Der Vorgang des Drahtziehens stellt nicht nur einen Dehnungsprozeß dar, wie ihn z. B. der Zugversuch ergibt, sondern vielmehr ein gleichzeitiges Dehnen und Einschnüren oder Zusammenpressen der Materialteilchen und bringt Strukturveränderungen hervor, welche für die weitere Verwendung des Materials von einschneidender Bedeutung sind. Es ist deshalb von besonderem Interesse, das innere Gefüge gezogener Drähte zu untersuchen, um sich an Hand der gewonnenen Ergebnisse ein Bild über die Art und Größe dieser Strukturveränderungen machen zu können.

Veränderungen der Korngröße.

Am meisten werden beim Ziehprozeß die inneren Schichten des Drahtmaterials auf Dehnung beansprucht, während die äußeren Schichten weit weniger von dieser Beanspruchung getroffen werden, ja zum Teil sogar Druckbeanspruchungen erleiden, welche auf die Reibung an den Wänden des Zieheisens zurückzuführen sind. Schon die einfache Vergegenwärtigung dieses Vorganges führt zu dem Resultat, daß ein gezogener Draht kein spannungsfreier Körper sein kann. Diese Tatsache wurde zuerst von Heyn ausgesprochen und durch Versuche an einem gezogenen Stab durch jeweiliges, schichtenweises Abdrehen und Messen* festgestellt. Schon im Jahre 1900 hat ferner Heyn die Veränderung der Gefügebestandteile** gezogener Drähte einer kritischen Betrachtung unterzogen und speziell über die Veränderung der Kornform recht interessante Ergebnisse aufstellen können. In vorliegender Arbeit wurde der Versuch unternommen, die dort gemachten Angaben auf die verschiedenen Phasen des Ziehprozesses eines von

§ Percy Longmuir: Some Aspects of Wire-Drawing, Engineering 1912, S. 524.

* Martens-Heyn: Materialienkunde für den Maschinenbau IIa. Berlin, Springer 1912, S. 285.

** E. Heyn: Die Umwandlung des Kleingefü es bei Eisen und Kupfer durch Formänderungen in kaltem Zustande und darauffolgendes Ausglühen. Z. d. V. d I. 1900, S. 433 ff.

13,85 auf 3,4 mm ⌀ gezogenen Flußeisendrahtes (Probe A) zu übertragen, und es konnten die von Heyn gefundenen Ergebnisse bestätigt werden. Die Untersuchungen fanden im metallographischen Laboratorium der Technischen Hochschule zu Breslau statt. Der Gang der Untersuchungen war folgender:

Von einigen Phasen des Drahtzuges wurde je ein Längs- und ein Querschliff hergestellt, und diese Schliffe zunächst in alkoholischer Pikrinsäure vorgeätzt und sodann in einer Lösung von Salpetersäure in Amylalkohol fertig geätzt. Entsprechend der noch später zu erörternden Steigerung der Löslichkeit eines Materials mit wachsender Streckung durch das Ziehen wuchs natürlich die Schwierigkeit des Aetzens mit fallender Drahtstärke. Das mikroskopische Bild des Walzdrahtes bot das für Flußeisen mit geringem C-Gehalt bekannte Konglomerat von Ferritkörnern mit vereinzelten Perlitfeldern, untermischt mit gelegentlichen Einschlüssen von Schlacke, dar. Die Längen- und Seitenausdehnung der Körner war bei beiden Schliffen ungefähr die gleiche. Interessant war an dem gewählten Walzdrahtmaterial das Vorhandensein einer starken Seigerung, d. h. Anreicherung an Kohlenstoff, Phosphor und Schwefel im Drahtkern, welche von einer reineren Randpartie umgeben war. Die mittlere Seigerungszone ließ noch deutlich den quadratischen Querschnitt des Walzblocks erkennen. Auch bei sämtlichen Phasen des Drahtzuges war diese Seigerungserscheinung zu konstatieren (siehe Abb. 1a und 1b für den Zug an 7,9 mm ⌀). Die Analyse beider Zonen ergab folgendes Resultat:

Analyse der Randzone:

0,10 % C, 0,01 % P, 0,01 % S, 0,48 % Mn, Spuren von Si

Analyse des Kerns:

0,16 % C, 0,025 % P, 0,048 % S, 0,50 % Mn, Spuren von Si

Diese Eigentümlichkeit beeinflußt, wie wir sehen werden, die Veränderungen der Materialeigenschaften durch den Ziehprozeß sehr deutlich. Zur Erzielung eines großen Bildfeldes wurden die mit dem Reichertschen Mikroskop erzielten Bilder auf einer großen Mattscheibe von 80×80 cm nach dem Vorgange von Dr. Oberhoffer aufgefangen, auf die ein in hundert Felder geteiltes Quadrat von 55 cm Seitenlänge aufgezeichnet war. Dadurch war es möglich, unter Anwendung relativ schwacher Objektive mit sehr starken, bis 2460fachen Vergrößerungen zu arbeiten. Bei der Ermittlung der durchschnittlichen Größe der Ferritkörner wurde das Auszählverfahren benutzt. Nach dem Vorgange Heyns* zählte man die Anzahl der von 22 Teillinien geschnittenen Ferritkörner unter Weglassung der Perlitfelder aus. Durch Division der Länge der Teillinie durch die Anzahl der Ferritkörner und die Vergrößerung erhielt man einen Mittelwert für die durchschnittliche Seitenlänge der Ferritkörner im Längsschliff bzw. im Querschliff. Dieses Verfahren wurde in beiden Schliffen auf je zwei Stellen der Rand- und der Kernzone ausgedehnt. Dabei ist bei der späteren Auswertung der Versuchsergebnisse die Annahme zugrunde gelegt worden, daß die Ferritkörner des ungezogenen Drahtes Würfelform besitzen. Die Größe der Ferritkörner ist in $\mu = 0{,}001$ mm ausgedrückt. Die Berücksichtigung des Perlitanteils geschah auf Grund des Kohlenstoffgehaltes von Rand- und Kernzone.

Bereits beim ersten Zuge (12,5 mm) war eine deutliche Streckung der Ferritkörner in der Längsrichtung bei Verringerung in der Querdimension zu bemerken, ohne daß man jedoch von einer Volumenverkleinerung der aus Würfeln in Parallelepipede verwandelten Ferritkörner sprechen konnte. Zug 2 hingegen (10,5 mm) wies schon neben einer ganz bedeutenden Längenzunahme der Ferritkörner eine enorme Verringerung ihrer Querschnitte und ihrer Volumina auf. Besonders überraschend war bei den Dräften dieses Materials, daß die Unterteilung der Ferritkörner nach senkrecht zur Richtung der Streckung verlaufenden Bruchflächen erst sehr spät eintrat, und zwar in der Randzone weit später als in der Kernzone. Nach in der Richtung der Streckung verlaufenden Bruchflächen war die Unterteilung bereits weit früher erfolgt. Heyn* konnte diesen Vorgang des Unterteilens an einem von Walzdraht 5,2 mm auf 3,7 mm Durchmesser gezogenen Draht schon nach dem ersten Zuge feststellen.

Die Untersuchung ließ sich trotz größerer Schwierigkeiten auf einige Phasen von geringeren Querschnittsdimensionen des gleichen Materials ausdehnen. Der Streckungsgrad, also das Verhältnis von Länge zu Breite der Ferritkörner, wuchs, wie die Zahlentafel 1 zeigt, von 1 zu 1 bei Walzdraht bis auf etwa 20 zu 1 bei Draht 3,36 mm, er blieb aber stets größer als 1. Wie ein Blick auf die Zahlentafel 1 zeigt, wiesen auch bei den vorliegenden Versuchen Rand- und Kernzone der gezogenen Drähte des untersuchten Materials ganz verschiedene Streckungsgrade auf, wahrscheinlich ein Beleg für die bereits erwähnte Annahme Heyns, daß beide Zonen ganz verschiedenartigen Beanspruchungen durch den Ziehprozeß ausgesetzt sind.

Zahlentafel 1. Korngrößemessungen an den Drähten der Probe A.

Draht ⌀ mm	Streckung Fo/F	Korngröße in $\mu = \frac{1}{1000}$ mm				Streckungsgrad	
		kurze Seite		lange Seite			
		Randzone	Kernzone	Randzone	Kernzone	Randzone	Kernzone
13,85	—	18,1	15,15	18,1	15,15	1 : 1	1 : 1
12,50	1,22	15,2	12,8	20,35	19,9	1,34 : 1	1,55 : 1
10,85	1,55	12,05	12,0	27,85	27,55	2,31 : 1	2,31 : 1
7,90	3,06	7,01	6,0	38,1	26,6	5,45 : 1	4,43 : 1
3,36	16,92	0,77	—	14,3	—	18,60 : 1	—

* Siehe Anmerkung S. 5: „Die Umwandlung des Kleingefüges usw."

Löslichkeit in verdünnten Säuren.

Hand in Hand mit der durch den Ziehprozeß bewirkten Streckung geht eine Verringerung der Dichte des Drahtmaterials. Diese schon seit einer Reihe von Jahren beobachtete Erscheinung führt sowohl zu einer Verminderung des spezifischen Gewichtes mit wachsender Querschnittsabnahme, als auch zu einer Vermehrung der Löslichkeit gezogener Drähte in verdünnten Säuren nach der gleichen Maßgabe. Durch Glühen auf etwa 900 ° C wird dem Drahtmaterial wieder die ursprüngliche Dichte erteilt unter Fortfall der eben genannten Eigentümlichkeit. Dem Beispiel von Heyn* und Goerens** folgend ist die Löslichkeit der Drahtreihe A in verdünnten Säuren untersucht worden. Die Bestimmung der Gewichtsverluste in bestimmten Zeiträumen in 1 %iger Schwefelsäure gab ein genaueres Bild der Löslichkeitsverhältnisse. Vor und nach dem Einlegen in die Säurelösung wurden die Drähte mit Alkohol und Aether behandelt, um eine vollständig fettfreie Oberfläche und somit ein gleichmäßiges Angreifen der Säure zu gewährleisten. Die Versuchswerte sind in Zahlentafel 2 für geglühte und ungeglühte Drähte aufgeführt und die Ergebnisse in Abb. 2 nach folgenden Gesichtspunkten aufgetragen. Als Abszissen gelten die Werte für die Streckung, also für das Verhältnis des ursprünglichen Querschnitts des ungezogenen Drahtes zum jeweiligen Querschnitt des gezogenen Drahtes, und als Ordinaten wurden die „relativen Löslichkeiten", also die Verhältniszahlen der Gewichtsverluste des gezogenen Drahtes zu denen des geglühten Drahtes gleichen Durchmessers eingezeichnet, und zwar beide Größen auf 100 qmm Oberfläche umgerechnet. Sämtliche Versuchsdrähte waren nach dem Vorgange von Heyn zur Erleichterung der Ausrechnung der Löslichkeitswerte genau 100 mm lang genommen worden. Die Kurvenzüge ähneln außerordentlich den von Heyn§ verzeichneten Kurven für die „relative Löslichkeit" eines Flußeisens von ähnlicher Zusammensetzung. Auch bei dieser Versuchsreihe war die

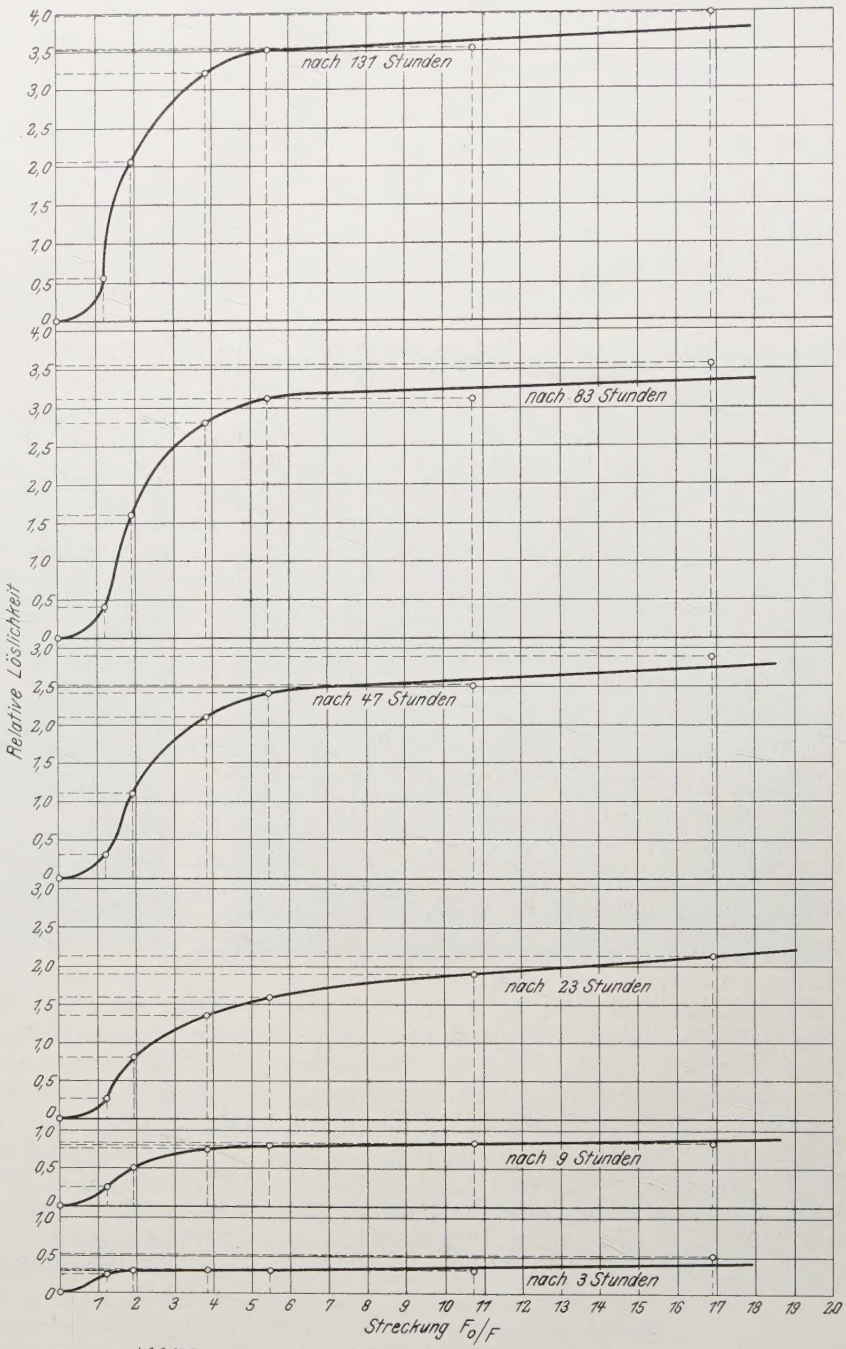

Abbildung 2. Kurven der „Relativen Löslichkeit".

* Martens-Heyn: Materialienkunde für den Maschinenbau II a. Berlin, Springer 1912, S. 297.

** P. Goerens: On the Influence of Cold-Working and Annealing on the Properties of Iron and Steel. Carnegie Scholarship Memoirs. London 1911, S. 374.

§ Martens-Heyn: Materialienkunde für den Maschinenbau II a, Berlin. Springer 1912, S. 298.

Zahlentafel 2. Löslichkeitsproben in 1%iger Schwefelsäure für Probe A.

Draht Φ mm	Strekkung Fo/F	Gewichtsverlust in Gramm nach 3 Stunden	9 Stunden	23 Stunden	47 Stunden	83 Stunden	131 Stunden	Bemerkung
		0,000 622	0,000 938	0,001 48	0,002 45	0,004 72	0,008 22	ungeglüht
12,52	1,220	0,002 57	0,003 77	0,004 47*	0,009 27*	0,011 88	0,016 23	geglüht
		0,2415	*0,247*	*0,331* (0,2625)	*0,264* (0,305)	*0,400*	*0,560*	Relativ-Löslichkeit
		0,000 309	0,000 899	0,002 49	0,005 38	0,011 839	0,021 27	ungeglüht
9,96	1,929	0,001 01	0,001 83	0,003 05	0,004 71	0,007 37	0,010 60	geglüht
		0,305	*0,490*	*0,817*	*1,145*	*1,602*	*2,07*	Relativ-Löslichkeit
		0,000 413	0,001 38	0,004 39	0,009 91	0,020 21	0,033 54	ungeglüht
7,08	3,820	0,001 33	0,001 83	0,003 23	0,004 70	0,007 20	0,010 40	geglüht
		0,310	*0,755*	*1,360*	*2,106*	*2,800*	*3,222*	Relativ-Löslichkeit
		0,000 489	0,001 55	0,005 14	0,011 30	0,022 49	0,036 78	ungeglüht
5,88	5,495	0,001 57	0,001 94	0,003 25	0,004 70	0,007 20	0,010 42	geglüht
		0,312	*0,800*	*1,582*	*2,402*	*3,122*	*3,532*	Relativ-Löslichkeit
		0,000 476	0,001 99	0,006 40	0,011 91	0,022 38	0,036 64	ungeglüht
4,22	10,740	0,001 54	0,002 41	0,003 46	0,004 79	0,007 18	0,010 34	geglüht
		0,313	*0,826*	*1,880*	*2,488*	*3,110*	*3,542*	Relativ-Löslichkeit
		0,000 50	0,001 48	0,005 84	0,011 57	0,022 40	0,037 30	ungeglüht
3,36	16,920	0,000 99	0,001 81	0,002 74	0,004 03	0,006 30	0,009 37	geglüht
		0,505	*0,819*	*2,132*	*2,870*	*3,560*	*3,980*	Relativ-Löslichkeit

* Werte entstellt durch ungleichmäßiges Ablösen von Beizzunder bei Glühdraht.

schon von Goerens** bemerkte Erscheinung festzustellen, daß anfangs die gezogenen Drähte gegenüber den geglühten Drähten eine geringere Löslichkeit aufwiesen, obwohl bei letzteren der Glühzunder durch Abschmirgeln vor Beginn der Versuche entfernt worden war. Erst nach einer ganzen Reihe von Stunden kehrte sich das Verhältnis um.

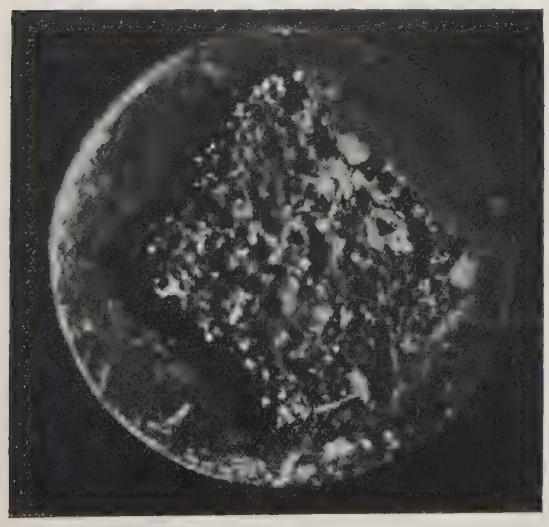

Abbildung 3.
Probe A.
Unterschied der Löslichkeit bei Rand- und Kernzone.

Entsprechend der verschiedenen Zusammensetzung von Rand- und Kernzone war auch die Löslichkeit beider verschieden. Bei den schwächeren Drähten waren die Kopfflächen dem quadratischen Umriß des geseigerten Kernes entlang ausgehöhlt, während die Randpartie eine der übrigen Oberfläche des Drahtes entsprechende Löslichkeit in der verdünnten Säure gezeigt hatte (siehe Abb. 3). Vielleicht spricht sogar auch diese Erscheinung wieder für die Richtigkeit der Annahme, daß der Kern eines gezogenen Drahtes durch den Vorgang des Ziehens weit mehr gereckt wird, als die Randpartien.

Es sei an dieser Stelle nebenher vermerkt, daß man in der Praxis schon lange unbewußt auf die Zunahme der Löslichkeit gezogener Drähte mit wachsender Streckung Rücksicht nimmt, und zwar wird empirisch der Schwefelsäuregehalt der Ziehflüssigkeit beim Naßzug in einem ganz bestimmten, dieser Streckung und somit auch der größeren Löslichkeit ziemlich genau entsprechenden Verhältnis gewählt.* Es dürfte deshalb nicht schwer fallen, umgekehrt für ein bestimmtes Drahtmaterial jeweils das geeignetste Abnahmeverhältnis für die Konzentration der Ziehflüssigkeit zu bestimmen, wenn einmal für dasselbe die Löslichkeitskurve in bezug auf die Säure der Ziehflüssigkeit festgelegt worden ist.

Veränderungen der Härte.

Eine weitere Veränderung in der Beschaffenheit des Drahtmaterials bewirkt der Ziehprozeß durch die Erhöhung der Härte. Bekanntlich läßt sich für den Begriff Härte eine Definition sehr schwer geben. Man versteht darunter sowohl das Maß des Widerstandes eines festen Körpers gegen das Eindringen eines anderen Körpers, als auch den Widerstand dieses Körpers gegen das Bestreben von außerhalb her auf ihn einwirkender Kräfte, Formveränderungen an ihm hervorzubringen. Auf letzterer Vorstellung beruhen die meisten Verfahren zur Härteprüfung. Nach dem Vorgange von Brinell

** P. Goerens: On the Influence of Cold-Working usw., S. 374 ff.

* Hütte, Taschenbuch für Eisenhüttenleute, herausgegeben vom akadem. Verein Hütte. Berlin W., Ernst & Sohn 1910, S. 881.

wird das Maß für die Härte eines Körpers durch den Eindruck festgestellt, welchen eine gehärtete Stahlkugel von bestimmtem Durchmesser unter einem bestimmten Druck auf ihm hervorbringt. Als Härtezahl gilt der mittlere spezifische Druck, welcher durch das Einpressen der Kugel in der entstandenen Eindruckfläche herrscht. Man ermittelt die dazu nötigen Größen durch Messung der Tiefe oder auch des Durchmessers der Eindruckfläche. Nach dem Föppel-Schwerdschen* Verfahren zur Härtebestimmung eines Körpers werden zwei Kreiszylinder von ein und demselben Material unter bestimmtem Druck kreuzweise so aufeinandergepreßt, daß kreisrunde Preßflächen entstehen. Als Härte wird dann bei diesem Verfahren der mittlere Druck in der Pressungsfläche bezeichnet. Alle diese Härteprüfungsverfahren sind leider für Drähte, besonders für solche von geringem Durchmesser, kaum anwendbar, und auch die von Martens** vorgeschlagene Ritzhärteprüfung mit Hilfe einer kegelförmigen Diamantspitze dürfte wenig befriedigende Resultate ergeben. Es wurde versucht, durch Einpressen einer Schneide von 90° Schneidenwinkel einigermaßen vergleichbare Werte über die Härtezunahme gezogener Drähte zu erhalten, und zwar wurden diese Versuche an den Drähten der oben des öfteren angeführten Versuchsreihe Probe A (13,85 mm, 12,5 mm, 10,8 mm usw.) ausgeführt. Leider konnte aber irgendwelche Stetigkeit in den Versuchswerten nicht festgestellt werden. Als Vergleichswerte galten die Tiefen sowohl wie die Breiten der Einkerbungen. Der Grund für das Scheitern dieser Versuche dürfte sowohl in einer verschiedenen Härte von Rand- und Seigerungszone, als auch in dem schichtenweisen Aufbau mehr oder weniger durch den Ziehprozeß in ihrer Härte beeinflußter Teile des Drahtmaterials zu suchen sein. Gerade für diesen schichtenweisen Aufbau scheint durch die Härteprüfungen mit dem Shoreschen Skleroskop ein neuer Beleg gefunden zu sein. Bekanntlich wird beim Skleroskop die Rückprallhöhe als Härtemaßstab angenommen, welche ein herabfallendes Gewicht* beim Auffallen auf ein Material von bestimmter Härte aufweist. Versuche an den entsprechenden Drähten für die Züge von 13,85 mm abwärts der bereits mehrfach erwähnten Versuchsreihe für Probe A ergaben nicht nur (siehe Zahlentafel 3), daß mit wachsender Streckung die Härte des Drahtmaterials zunimmt, sondern vor allem auch, daß die Härte in ein und demselben Querschnitt von außen nach innen wächst, und was besonders auffallend erscheint, daß Querschnitt und Längsschnitt ein und desselben Probestückes verschiedene Härteziffern aufweisen.** Die von Shore seinem Apparat zugrunde gelegte Teilung der Skala für die Höhe des Rückpralles ist zwar von ihm willkürlich angenommen, insofern als er als Härtezahl 100 die Härte eines Stahles von bestimmtem Härtegrade bezeichnet. Jedoch sind die gefundenen Werte als Relativwerte trotzdem ebenso wertvoll, wie diejenigen der Brinellschen Kugeldruckhärtemessungen. Die Vorbereitung der Versuchsstücke besteht in sauberem Abschmirgeln mit Schmirgelpapier Nr. 00. Als vollgültige Angabe des Skleroskops kann nur diejenige gelten, bei der sich der senkrechte Aufprall des Fallgewichtes auf die Fläche des Versuchsstückes durch einen klaren Ton erkenntlich macht. — Direkt behaupten läßt sich ja nicht, daß die Unterschiede in der Härte auf oben erwähnten Aufbau zurückzuführen sind und nicht ganz einfach ihre Erklärung in der verschiedenen chemischen Zusammensetzung von Rand- und Kernzone findet. Auf jeden Fall ist es interessant, daß bei den ersten Zügen in den äußeren Randpartien eine solch geringe Härte ermittelt wurde, daß man schlechthin die Härte des Walzdrahtes dafür einsetzen konnte. An Drähten stärkerer Züge, also größerer Streckung, ließ sich natürlich diese Feststellung kaum mehr machen, da die Uebergangsgebiete von Rand- und Kernzone sowieso schon sehr geringe Dimensionen besaßen. Auf jeden Fall zeigen die Versuchswerte von außen nach innen stark anwachsende Härteziffern. Dies trifft sowohl

Zahlentafel 3. Versuchsergebnisse über Härteprüfungen mit dem Skleroskop, ausgeführt an Zügen der Probe A von Walzdraht 13,85 mm abwärts.

Draht ⌀ mm	Streckung F_0/F	Härtezahlen laut Angabe des Skleroskops im Querschnitt: Randzone	äußerer Rand	Kernzone	im Längsschnitt: Randzone	äußerer Rand	Kernzone	Bemerkungen σ_B / H_K	σ_S / H_K
13,85	—	2	2	9	3,5	2	22	1,73	1,23
12,50	1,22	5	2	25,5	6,5	—	33	1,51	1,50
10,85	1,55	11	—	28	10	—	46	1,24	1,22
8,96	2,44	18	—	35,5	19	—	53	1,28	1,24
7,85	3,09	—	—	—	—	—	60	1,17	1,12
7,05	3,83	—	—	—	—	—	63	1,14	1,11
5,85	5,50	—	—	—	—	—	66	1,10	1,08
4,95	7,81	—	—	—	42	—	75	1,04	1,04
4,22	10,74	42	—	56	49	—	80	1,07	0,98
3,34	16,93	—	—	—	—	—	85	1,10	1,02

* Mitteilungen aus dem mechan.-technischen Laboratorium der Techn. Hochschule München, Heft 25, S. 37 u. f. und Heft 28, S. 42 u. f.

** A. Martens: Handbuch der Materialienkunde. Berlin, J. Springer, S. 241 u. f.

* Shore verwendet zwei im Gewichte verschiedene Fallkörper; das leichtere bezweckt die Erzielung größerer Rückprallhöhen bei Material von geringerer Härte. Die nachfolgend verzeichneten Versuche wurden mit dem letzteren Gewicht angestellt.

** Siehe auch A. Kürth: Ueber die Beziehung der Kugeldruckhärte zur Streckgrenze und zur Zerreißfestigkeit zäher Metalle. Mitteilungen über Forschungsarbeiten. Berlin, J. Springer, Heft 66, S. 97.

für den Querschnitt als auch für den Längsschnitt zu. Wenn man nun aber auch noch die Gleichheit der Korngrößen beim Walzdraht für beide Zonen und den verschiedenartigen Streckungsgrad der Ferritkörner im gezogenen Zustande betrachtet, so wären obige Versuchswerte im Verein mit den Ergebnissen der Löslichkeitsproben doch ein Moment mehr für die Richtigkeit der Heynschen Annahme vom schichtenweisen Aufbau gezogener Drähte.

Der Grund für die Verschiedenartigkeit der Härtegrade in Quer- und Längsschnitt ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß die Ferritkörner in der Längsrichtung vor allem gereckt wurden, also besonders in dieser Richtung durch den Ziehprozeß eine Härtezunahme bewirkt wurde, daß sich aber in der Querrichtung die Einschnürarbeit beim Ziehen weit mehr in einer Unterteilung der Ferritkörner als in einer Härtezunahme äußerte. Zahlentafel 3a stellt einen Vergleich zwischen Härte, Bruchfestigkeit und Streckgrenze in Funktion der jeweiligen Streckung dar, und zwar für die Härte H_K des Kerns in der Längsrichtung. Die Versuche bestätigen, wenigstens für die Kernzone, und zwar für Härtemessungen in der Längsrichtung aufeinanderfolgender Phasen des Drahtzuges ermittelt, das von verschiedenen Forschern festgestellte Anwachsen der Härte mit steigender Streckgrenze* und Bruchfestigkeit** (siehe Zahlentafel 3a und Abb. 4 S. 12), doch war ein absolutes Gleichbleiben des Quotienten $\frac{\sigma_S}{H_K}$ bzw. $\frac{\sigma_B}{H_K}$ nicht zu beobachten. Speziell die von Kürth* für alle Streckungsgrade gefundene Konstanz des Quotienten $\frac{\sigma_S}{H_K}$ war bei den vorliegenden Versuchswerten nicht vorhanden, das dürfte aber dadurch seine Erklärung finden, daß Kürth wahrscheinlich wohl Mittelwert für die Härte aller Zonen des untersuchten Probestabes mit den entsprechenden Mittelwerten für die Streckgrenze verglich, während hier nur die Werte für die Härte einer bestimmten Zone mit den Werten für die mittlere Streckgrenze aller Zonen in Parallele gestellt wurden. Auch erstreckten sich Kürths Versuche in erster Linie auf Stäbe, die zwar durch Streckung in der Zerreißmaschine eine Kaltbearbeitung erlitten hatten, aber doch nicht, wie dies beim Ziehprozeß geschieht, durch Einschnüren einer zusätzlichen Querbeanspruchung des Materials unterworfen worden waren. Der Quotient $\frac{\sigma_S}{H_K}$ bzw. $\frac{\sigma_B}{H_K}$ bewegte sich mit wachsendem Streckungsgrad in Werten, die zwischen $\frac{\sigma_S}{H_K} = 1{,}5 \div 0{,}98$ und $\frac{\sigma_B}{H_K} = 1{,}73 \div 1{,}1$ lagen. Vom Wert bei Glühdraht 1,73 abgesehen, war er für $\frac{\sigma_B}{H_K}$ im Durchschnitt etwa 1,175, womit für das gegebene Material der Probe A die Möglichkeit bestände, annäherungsweise für jeden Zug aus den Härteziffern jeweils die Bruchfestigkeit zu errechnen. Dies ist ein Ergebnis, das bei überschlägigen Ermittlungen für die Bedürfnisse der Praxis in vielen Fällen genügen dürfte, denn es setzt nur die einmalige genaue Bestimmung des Mittelwerts der Konstanten $\frac{\sigma_B}{H_K}$ für ein bestimmtes Material voraus.

Auch die Anwendbarkeit der Shoreschen Härteprüfung hat ihre Grenze in der Schwierigkeit, Querschnitte von geringem Durchmesser für den Apparat geeignet einzuspannen, weshalb für schwächere Drähte nur Längsschnitte einwandfrei für die Härteprüfung in Betracht kommen. Zusammenfassend läßt sich aus Vorstehendem die Folgerung ziehen, daß unter der Härte gezogener Drähte nicht etwa ein für alle Zonen des Drahtquerschnitts gültiger Wert verstanden werden kann, sondern vielmehr nur ein Mittelwert für die verschiedenen Einzelhärten dieser Zonen. In diesem Sinne als Mittelwert betrachtet, zeigt die Härte gezogener Drähte eine große Verwandtschaft zur Streckgrenze und Bruchfestigkeit des Materials, denn auch diese sind nur als Gesamtwerte oder als Integrale der Festigkeiten der einzelnen Querschnittszonen nach Maßgabe ihrer durch den Drahtzug bewirkten Streckung anzusehen.

Zahlentafel 3 a. Versuchswerte der Zerreißproben an Probe A für Züge von 13,85 mm ⌀ abwärts.

Draht ⌀ mm	Querschnitt □ mm	Dehnung %	σ_S Streckgrenze S^a kg	p. □ mm kg	σ^B Bruchfestigkeit S^a kg	p. □ mm kg	Bemerkung
13,85	150,22	11	4000	26,6	5800	38,4	Festigkeitszunahme mal Querschnittsabnahme
12,50	123,00	3,5	6090	49,5	6125	49,75	303
10,85	92,41	3	5185	56,0	5270	57,0	1070
9,96	77,91	3	4520	58,0	4665	59,9	1550
8,95	62,91	2,5	4100	65,3	4165	67,8	2560
7,90	49,02	2	3300	67,3	3430	70,0	3200
7,08	39,37	2	2750	69,8	2800	71,25	3650
5,90	27,34	1,5	1955	71,6	1990	72,8	4225
4,96	19,32	1,2	1500	77,8	1510	78,3	5220
4,20	13,85	1,2	1090	78,5	1185	85,6	6200
3,35	8,81	1,0	760	86,3	820	93,0	7850

Veränderung der Bruchfestigkeit.

Die Veränderung der Zugfestigkeit durch den Ziehprozeß ist bekanntlich der Ausgang für die meisten Qualitätsproben gezogener Drähte geworden. Ihre Bestimmung nimmt in der Praxis noch immer eine hervorragende Stelle ein, obwohl gerade der Begriff Bruch- oder Zugfestigkeit eine schwer definierbare Grenze der Materialbeanspruchung durch

* S. Anmerkung S. 10 ebenda, S. 90.

** Baumaterialienkunde 1903, Heft 1 und 2.

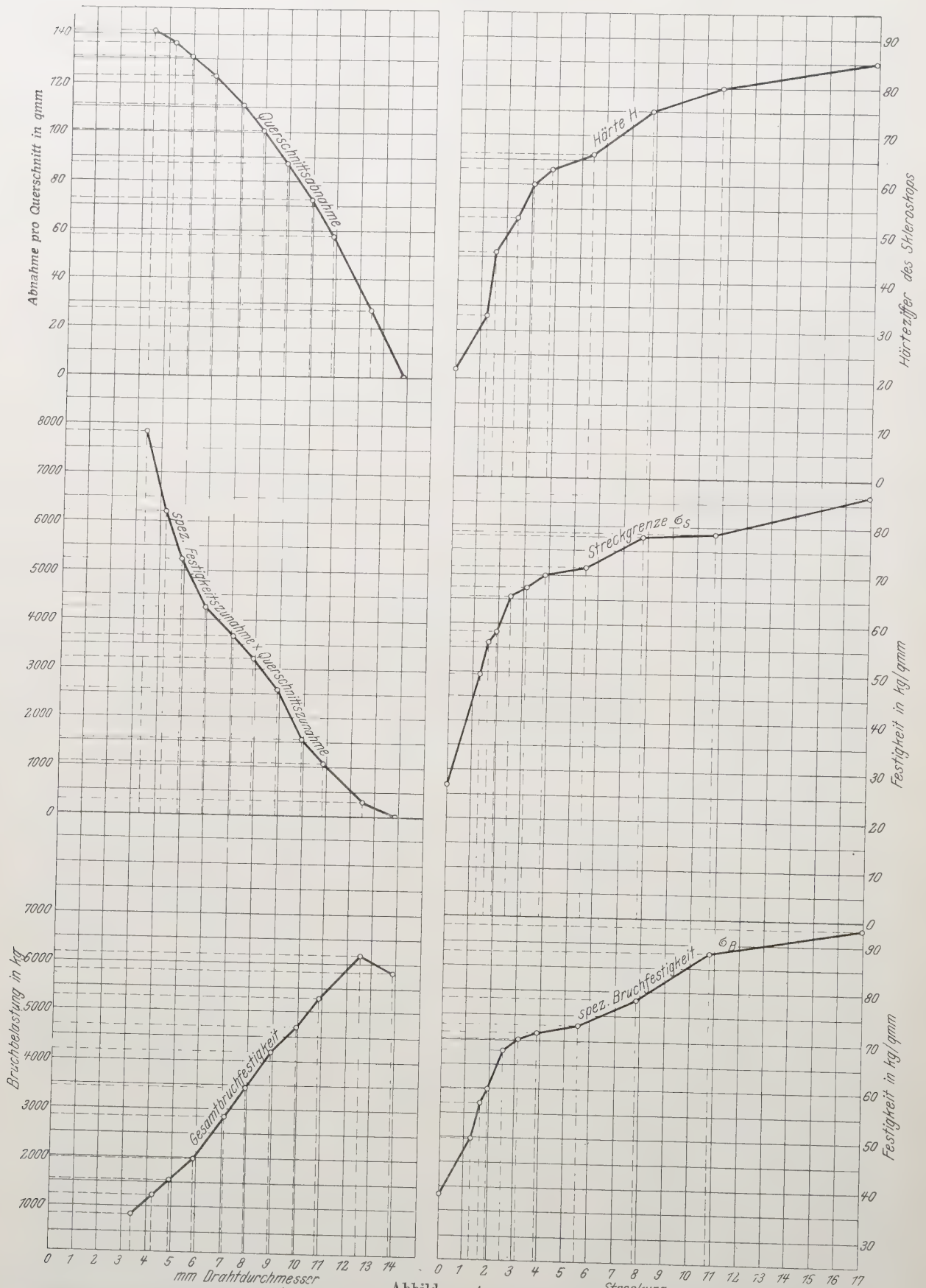

Abbildung 4.

Kurven der Bruchfestigkeitswerte in Funktion der Drahtstärke. Probe A.

Kurven für die Veränderung von Bruchfestigkeit, Streckgrenze und Härte in Funktion der Streckung. Probe A.

Dehnung darstellt. Landläufig versteht man unter der Bruchfestigkeit eines Drahtes diejenige Festigkeit, die er aufweist, wenn er in eine Zerreißmaschine eingespannt und bis zu seinem Bruche gereckt wird. Meist wird aber hierbei nicht erwogen, daß unser technisch hergestelltes Drahtmaterial kein absolut homogenes Fabrikat ist, sondern vielmehr oft ein schon vom Blockgießen im Stahlwerk durch Seigerungsprozesse, Schlackeneinschlüsse, ungleiche Glühung usw. qualitativ sehr verschiedener Körper. Infolgedessen werden der ungleichen Zusammensetzung des Materials entsprechend bei der Zerreißprobe kurz vor Eintreten des Bruches die weniger zähen Stellen zuerst nachgeben und der Zusammenhang der Materialteilchen gestört werden. Man hat deshalb vielfach die Bestimmung der Streck- oder Fließgrenze, d. h. also diejenige Größe der Materialbeanspruchung, bei welcher der Beginn bleibender Formänderungen durch die Belastung in der Zerreißmaschine eintritt, zur Beurteilung der Zugfestigkeit des Drahtmaterials vorgeschlagen. Doch ist im allgemeinen diese Bestimmung auf den Rahmen der Laboratorien beschränkt geblieben, da die Feststellung dieser Größe eine gewisse Präzision der Apparate und vor allem ein geübtes Personal erfordert. Man wird bei Flußeisen zB. durchweg finden, daß die Streckgrenze bei Glühdrähten etwa bei einem Wert von etwa 60 bis 65 % der Bruchbelastung und bei ungeglühten Drähten bei einem solchen von etwa 90 bis 95 % der Bruchbelastung liegt. Meist wird man in der Praxis die einfachen Zerreißmaschinen von Tarnogrocki und allenfalls die Laufgewichtswagen von Mohr & Federhaff u. a. in Anwendung finden, bei denen obige Feststellung gewisse Schwierigkeiten bereitet. Deshalb muß schon, um den Bedürfnissen der Praxis entgegenzukommen, mit dem landläufigen Begriff der Bruchfestigkeit weitergearbeitet werden. Es verdient aber immer hervorgehoben zu werden, daß das Eintreten des Bruches von der Struktur des Materials abhängig ist und deshalb zur Ermittelung eines befriedigenden Mittelwertes sich stets die Anstellung von mehreren Versuchen empfehlen dürfte.

Wie verändert sich aber überhaupt die Bruchfestigkeit beim Ziehprozeß? Sowohl für den Zug von Walzdraht, wie auch für die Züge von schwächeren, von diesem Walzdraht stammenden Glühdrähten hat sich bei den vorliegenden Versuchen auch für Flußeisen das bereits von Stribeck* ermittelte Gesetz bestätigt gefunden, nach welchem sich vom ersten Zuge ab die Gesamtbruchfestigkeiten der einzelnen aufeinanderfolgenden Züge bei richtiger Durchführung des Ziehprozesses auf einer schwach gekrümmten Parabel höherer Ordnung bewegen, die anfangs durch eine gerade Linie ersetzt werden kann, und zwar werden dabei als Ordinaten die Gesamtbruchfestigkeitszahlen und als Abszissen die diesen Bruchfestigkeiten entsprechenden Drahtstärken aufgetragen. Es handelt sich hierbei, wie bereits Stribeck* und Seyrich** fanden, nur um Züge unterhalb des Einschnürungsquerschnittes, also unterhalb der beim Zerreißversuch ermittelten Querschnittsfläche zu Beginn der Kontraktion des vorher gezogenen stärkeren Drahtes. Wie die folgenden Tabellen zeigen, fallen aber praktisch für richtig gezogene Drähte Drahtdurchmesser und Kontraktions-Anfangsdurchmesser zusammen, und nur der Walzdraht oder Glühdraht zeigt eine starke Kontraktion. Wie Stribeck fand, wird eben das Material beim Ziehen auf Kosten seiner Dehnbarkeit bis zum Querschnitt zu Beginn der Kontraktion zunächst gedehnt, von diesem Querschnitt ab aber findet keine nennenswerte Dehnung mehr statt, sondern nur ein Einschnüren. In der vorliegenden Arbeit sind Stahldrähte nicht untersucht worden, sondern nur Flußeisendrähte mit geringem Kohlenstoffgehalt.

Auch in der einschlägigen Literatur§ ist für Flußeisendrähte ein Fallen der Gesamtbruchfestigkeitszahlen nach einer ganz schwach gekrümmten, fast geraden Linie festzustellen, wenn als Abszissen die Drahtdurchmesser aufgetragen werden usw. Trägt man dagegen in einer graphischen Darstellung als Abszissen wiederum die Drahtstärken, als Ordinaten aber die Bruchfestigkeiten pro qmm auf, so ist der sich ergebende Linienzug für die Steigerung der spezifischen Bruchfestigkeit pro qmm wiederum eine einer Parabel ähnliche Kurve. Dies Ergebnis ist selbstverständlich, da sich die Bruchfestigkeiten pro qmm im Quadrat der Durchmesser verändern. Die Erhöhung der Bruchfestigkeit vollzieht sich dabei nach dem Gesetz, daß das Produkt aus Querschnittsabnahme mal spezifischer Bruchfestigkeitszunahme, in bezug auf die Drahtdurchmesser betrachtet, einer gekrümmten Linie folgt, die annähernd durch eine Gerade ersetzt werden kann (siehe auch Abb. 4 für Probe A beim Zug von 13,85 mm ab).

Bei der Ermittlung des in der Einleitung erwähnten graphischen Verfahrens ist der von Seyrich§§ vorgeschlagene Weg, durch Auffindung der Festigkeitshyperbel die jeweiligen Bruchfestigkeiten in den einzelnen Phasen des Ziehprozesses festzustellen, nicht befolgt worden; gerade die oben angegebene Parabelform der Gesamtbruchfestigkeitslinien wurde vielmehr zu dieser Feststellung benutzt, da in dem gleichartigen, parabelartigen Verlauf eine Bestätigung für das Aehnlichkeitsgesetz gesehen wurde. Damit war die Voraussetzung für das Eintreten gleichartiger Erscheinungen als gegeben erachtet, wie ja auch das Folgende zeigen dürfte. Abweichend von dem parabelförmigen bzw. fast geradlinigen Verlauf der Bruchfestigkeitswerte verhält sich, wie schon oben

* R. Stribeck: Kaltbearbeitung und Zugversuch. Z. d. V. d. I. 1909, S. 241.

* R. Stribeck: ebenda S. 244.

** K. A. Seyrich: Ueber die Einwirkung des Ziehprozesses auf die wichtigsten technischen Eigenschaften des Stahls. Dissertation, Dresden 1911, S. 43.

§ Siehe z. B. Speer: Mechanische Untersuchungen über den Einfluß der Verzinkung auf Förderseildrähte. Glückauf 1910, Heft 22 und 23, S. 830 ff. und: Aus der Praxis für die Praxis. Die Fabrikation der gezogenen Eisen- und Stahldrähte usw., Verlag Clary & Co., Hess.-Lichtenau, S. 21.

§§ ebenda S. 54.

erwähnt, in jeder Kurve jeweils der Walzdraht bzw. Glühdraht, von welchem die nachfolgenden Drahtstärken abgezogen worden sind. Seine Bruchfestigkeit liegt immer unterhalb jenes Punktes, welcher, dem Verlauf der anderen Bruchfestigkeiten folgend, ihm eigentlich zukommen sollte, und zwar sowohl bezüglich der Gesamtbruchfestigkeit als auch der spezifischen Bruchfestigkeit pro qmm. Diese Erscheinung bestätigt die Stribeckschen Erfahrungen, daß das Drahtmaterial nach erfolgter Glühe durch den Ziehprozeß zunächst einmal auf Kosten seiner Dehnbarkeit auf eine bestimmte Bruchfestigkeit gebracht werden muß, ehe es ein stetiges Anwachsen der Bruchfestigkeit beim ferneren Ziehen zeigt. Es wurden für eine Reihe B* wie für eine Reihe C* diese Verhältnisse an Walzdraht 5,5 mm sowohl wie an Glühdraht 2,4 mm für Probe B, und Walzdraht 5,5 mm und Glühdraht 3,4 mm und 2,8 mm für Probe C untersucht. Bei Probe B konnten die Versuche für alle Züge bis etwa 0,7 mm abwärts durchgeführt werden. Die Zahlentafeln 4 und 5 zeigen außer den Bruchfestigkeitszahlen auch die Werte für die Dehnung in % und die Streckgrenzen**, soweit diese einwandfrei feststellbar waren. Durch Auftragen der Versuchswerte für die Gesamt-Bruchfestigkeiten in Funktion der Drahtstärken auf logarithmisch geteiltem Millimeterpapier erzielt man die Verwandlung der Parabeln höherer und wahrscheinlich wohl auch gleicher Ordnung in parallele Gerade. Verlängert man jeweils diese geraden Linien über ihren Anfangspunkt (beim ersten Zug) hinaus bis zum Schnitt mit der dem Walzdraht bzw. Glühdraht entsprechenden Ordinate, so erhält man eben die Bruchfestigkeit, auf die der geglühte Draht erst gebracht werden muß, um gesetzmäßiges Ansteigen beim Zug zu zeigen. Dieselbe entspricht bei Reihe C für Walzdraht von 36 kg/qmm etwa 1210 kg oder 51,7 kg/qmm und bei Glühdraht 3,39 mm Φ bzw. 2,81 mm Φ von etwa 34 bzw. 33,4 kg/qmm; 440 bzw. 305 kg entsprechend je etwa 49 kg/qmm: sie steigert sich also fast genau proportional der Bruchfestigkeit des geglühten Materials und ist gleich der spezifischen Bruchfestigkeit des Walzdrahtes bzw. Glühdrahtes bezogen auf den Querschnitt zu Beginn der Einschnürung beim Zugversuch — ganz konform den von Stribeck und Seyrich aufgestellten Beziehungen (siehe Abb. 5 S. 16). In der Praxis des Drahtzuges interessiert es nun vor allem, das Ausgangsmaterial für Flußeisendrähte mit etwa 60 bis 70 kg pro qmm spezifischer Bruchfestigkeit bestimmen zu können, d. h. zu wissen, ob diese Drähte direkt vom Walzdraht oder nach erfolgter Zwischenglühe von einem diesem Walzdraht entstammenden Glühdraht abzuziehen sind. Die weitgehende Genauigkeit, mit welcher sich für alle Züge unterhalb des Einschnürungsanfangsquerschnitts, gleich ob solche von Walzdraht oder Glühdraht erfolgen, die Werte für die Gesamtbruchfestigkeiten in der oben erwähnten logarithmischen Darstellung geraden Linien anschmiegen, läßt den Schluß zu, umgekehrt auch von vornherein für

Zahlentafel 4. Festigkeitsversuche an Drähten der Probe B.

Draht Φ	Bruchdehnung	Querschnitt	Draht Φ zu Beginn der Einschnürung	Draht Φ in der Einschnürung	Bruchfestigkeit im ganzen	Bruchfestigkeit pro □ mm	Streckgrenze gesamt	Streckgrenze pro □ mm	
mm	%	qmm			kg	kg	kg	kg	
5,73	29	25,787	4,81	3,00	853,5	33,15	498	19,33	a) geglüht
4,20	21,5	13,854	3,80	2,20	468,5	33,8	248	17,81	
3,40	28	9,079	3,10	2,00	302,5	33,65	204	22,48	
2,785	21,5	6,090	2,45	1,50	206,5	33,9	134	22,0	
2,395	27	4,518	2,10	1,35	149,5	33,1	84	18,6	
1,98	24	3,079	1,70	1,00	100,5	33,65	58	18,85	
1,69	21,5	2,243	1,45	0,90	76	33,82	48	21,4	
1,585	19,5	1,974	1,40	0,84	68	34,45	39	19,75	
1,47	18,5	1,697	1,20	0,72	58	34,20	34	20,04	
5,73	29	25,787	4,80	3,00	853,5	33,15	498	19,33	b) ungeglüht von geglühtem Walzdraht
4,20	2,6	13,854	4,17	2,85	821,6	59,25	770	55,6	
3,40	2,5	9,079	3,38	2,55	589	64,90	525	57,8	
2,805	2,5	6,180	2,78	2,05	438	71,00	408	66,0	
2,39	2,5	4,486	2,36	1,85	340,5	75,80	306	68,3	
1,98	2,0	3,079	1,98	1,52	260,5	84,50	225	73,1	
1,69	1,8	2,243	1,69	1,38	198,5	88,50	—	—	
1,59	1,1	1,986	1,58	1,30	174,5	87,80	—	—	
1,475	—	1,708	1,47	1,20	150	87,90	—	—	
2,40	26	4,524	2,10	1,35	153	33,80	96	21,2	c) ungeglüht von Glühdraht Nr. 2,40
2,00	3,6	3,142	1,97	1,10	164	52,10	—	—	
1,80	2,2	2,545	1,79	1,17	145	57,0	—	—	
1,60	1,6	2,010	1,60	1,05	128	63,5	—	—	
1,39	1,0	1,517	1,38	0,95	103	68,0	—	—	
1,30	1,0	1,327	1,30	0,86	91	68,5	—	—	
1,20	0,8	1,131	1,20	0,83	79	70,4	—	—	
1,11	0,6	0,968	1,11	0,82	76	78,5	—	—	
1,01	0,5	0,801	1,00	0,75	63	78,6	—	—	
0,91	0,5	0,650	0,90	0,62	53	81,5	—	—	
0,7	—	0,383	0,7	—	33	86,4	—	—	
0,63	—	0,312	0,63	—	30	96	—	—	
0,55	—	0,238	0,55	—	24	97	—	—	
0,52	—	0,212	0,52	—	22	103,8	—	—	

* Analyse: Probe B: 0,1 % C; 0,5 % Mn; 0,04 % P; 0,03 % S, Spuren von Si Probe C: 0,08 % C; 0,4 % Mn; 0,02 % P; 0,04 % S, Spuren von Si.

** Bei ungeglühten gezogenen Drähten nach Stribeck richtiger Einschnürgrenze genannt.

den Verlauf der Erhöhung der Bruchfestigkeiten für alle Züge ein und desselben Walzdrahtmaterials ein Diagramm zu verzeichnen. Hat man zunächst einmal

Zahlentafel 5. Festigkeitsversuche an Drähten der Probe C.

Draht Nr.	Bruchdehnung	Querschnitt	Draht ⌀ zu Beginn	Draht ⌀ in der Einschnürung	Bruchfestigkeit im ganzen	Bruchfestigkeit pro □ mm kg	Streckgrenze im ganzen	Streckgrenze pro □ mm kg	
mm	%	□ mm							
5,43	31	23,157	4,60	2,75	805	34,8	534	23,06	a) geglüht
4,18	30	13,723	3,55	2,0	478	34,8	336	24,45	
3,38	28	8,973	2,95	1,55	305	34,0	219	24,40	
2,81	30	6,202	2,38	1,45	207	33,4	154	24,8	
2,32	28	4,227	2,05	1,20	145	34,3	90	21,27	
1,98	30	3,079	1,68	1,00	104	33,8	58	18,86	
1,69	28	2,243	1,45	0,85	77	34,2	45	20,07	
5,45	25,0	23,328	4,70	2,80	840	36	540	23,18	b) ungeglüht von ungeglühtem Walzdraht
4,18	1,85	13,723	4,16	2,85	788	57,5	736	53,65	
3,39	1,8	9,026	3,38	2,25	588	65,1	564	62,5	
2,76	1,8	5,983	2,76	2,05	424	70,8	396	66,3	
2,31	1,8	4,191	2,30	1,71	316	75,4	299	71,3	
1,99	1,7	3,110	1,97	1,50	247	79,4	228	73,3	
1,68	1,55	2,217	1,67	1,27	188	85	174	78,5	
1,50	—	1,767	1,49	1,12	146	83	—	—	
1,38	—	1,496	1,37	1,08	130	87	—	—	
1,30	—	1,327	1,29	1,06	117	87,5	—	—	
1,21	—	1,150	1,20	1,03	107	93	—	—	
1,12	—	0,985	1,11	1,00	95,5	97	—	—	
1,00	—	0,784	1,00	0,90	80	102	—	—	
0,90	—	0,636	0,89	0,77	66	103,5	—	—	
0,80	—	0,503	0,80	0,68	55	109,3	—	—	
0,71	—	0,396	0,71	0,58	46,5	117,5	—	—	
3,38	28	8,973	3,00	1,55	305	34,0	219	24,4	c) ungeglüht von Glühdraht Nr. 3,38
2,77	3,0	6,026	2,75	2,28	338	56,1	314	52,1	
2,36	2,0	4,374	2,35	1,68	263	57,8	235	53,8	
1,97	2,0	3,048	1,96	1,64	195	64,0	185	60,7	
1,80	1,5	2,545	1,79	1,42	165	64,9	154	60,6	
1,63	1,0	2,087	1,62	1,28	142	68,0	134	64.2	
1,38	—	1,496	1,36	1,20	102	68,3	—	—	
1,32	—	1,368	1,31	1,15	94	68,6	—	—	
1,18	—	1,094	1,17	1,06	80	73,1	—	—	
1,12	—	0,985	1,11	0,99	73	74,1	—	—	
0,98	—	0,754	0,97	0,85	57	75,6	—	—	
0,88	—	0,608	0,88	0,78	48	78,0	—	—	
0,74	—	0,430	0,74	0,68	37	86,0	—	—	
0,66	—	0,342	0,66	0,60	32	96,5	—	—	
2,81	30	6,202	2,38	1,45	207	33,4	154	24,81	d) ungeglüht von Glühdraht Nr. 2,81
2,38	2,0	4,449	2,35	1,30	230	51,1	207	46,5	
2,15	2,0	3,630	2,14	1,25	201	55,4	193	53,2	
1,77	1,0	2,461	1,75	1,20	150	60,9	134	54,4	
1,62	0,7	2,061	1,62	1,00	130	62,9	116	56,3	
1,50	—	1,767	1,48	0,95	110	62,5	—	—	
1,39	—	1,517	1,38	0,92	98	65,4	—	—	
1,21	—	1,149	1,18	0,86	79	68,7	—	—	
1,08	—	0,916	1,07	0,81	64	70,0	—	—	
0,99	—	0,769	0,97	0,78	55	71,3	—	—	
0,90	—	0,636	0,88	0,71	48	75,5	—	—	
0,78	—	0,478	0,77	0,66	37	77,2	—	—	
0,72	—	0,407	0,71	0,63	32	78,5	—	—	

von zwei aufeinanderfolgenden Zügen für einen Walzdraht oder Glühdraht die Gesamtbruchfestigkeiten bestimmt und in das Diagramm eingetragen, so liegen die Punkte für die Bruchfestigkeiten für alle weiteren Züge auf den jeweiligen Verlängerungen der Verbindungslinien beider Punkte. Dies leuchtet ohne weiteres ein. Das Verfahren läßt sich aber auch so weit vervollständigen, daß die Möglichkeit gegeben ist, nach Festlegung dieser Verhältnisse für den Walzdraht sofort angeben zu können, in welchen Grenzen sich die Erhöhung der Gesamtbruchfestigkeitswerte für die Züge von einem diesem Walzdraht entstammenden Glühdraht bestimmten Durchmessers bewegen werden. Voraussetzung ist dabei zunächst, daß Walz- und Glühdraht gleiche spezifische Bruchfestigkeit per qmm haben. Wie wir fanden (siehe Abb. 5), waren ja für ein und dasselbe Walzdrahtmaterial in der logarithmischen Darstellung die Linien der Gesamtbruchfestigkeiten der gezogenen ungeglühten Drähte parallel oder doch nahezu parallel. Andererseits schnitten sich aber auch die Verlängerungen der Bruchfestigkeitslinien (über den Punkt für den ersten Zug hinaus) mit der Ordinate für Walz- und Glühdrähte in Punkten, die den jeweiligen Bruchfestigkeitswerten, bezogen auf die Querschnitte von der Kontraktion, entsprachen. Für gleiche spezifische Bruchfestigkeit von Walz- und Glühdraht waren aber auch die spezifischen Bruchfestigkeitswerte, bezogen auf den Einschnürungsquerschnitt, gleich, d. h. aber nichts anderes, als daß diese Werte als Punkte gleicher spezifischer Bruchfestigkeiten linear auf Parabeln oder in unserem logarithmischen Diagramm auf einer geraden Linie liegen, die man als Grenzlinie für das Eintreten stetiger Steigerung der Bruchfestigkeit beim Drahtziehen bezeichnen kann. Damit ist aber auch der Weg für die Bestimmung des Verlaufs der Gesamtbruchfestigkeitswerte für alle einem bestimmten Walzdraht

entstammenden Glühdrähte vorgezeichnet. Diagramm Abb. 5 zeigt die Bestimmung der Bruchfestigkeit des Drahtes 1,6 ⌀, herrührend von Glühdraht 2,0 mm ⌀ der Probe C. Man braucht

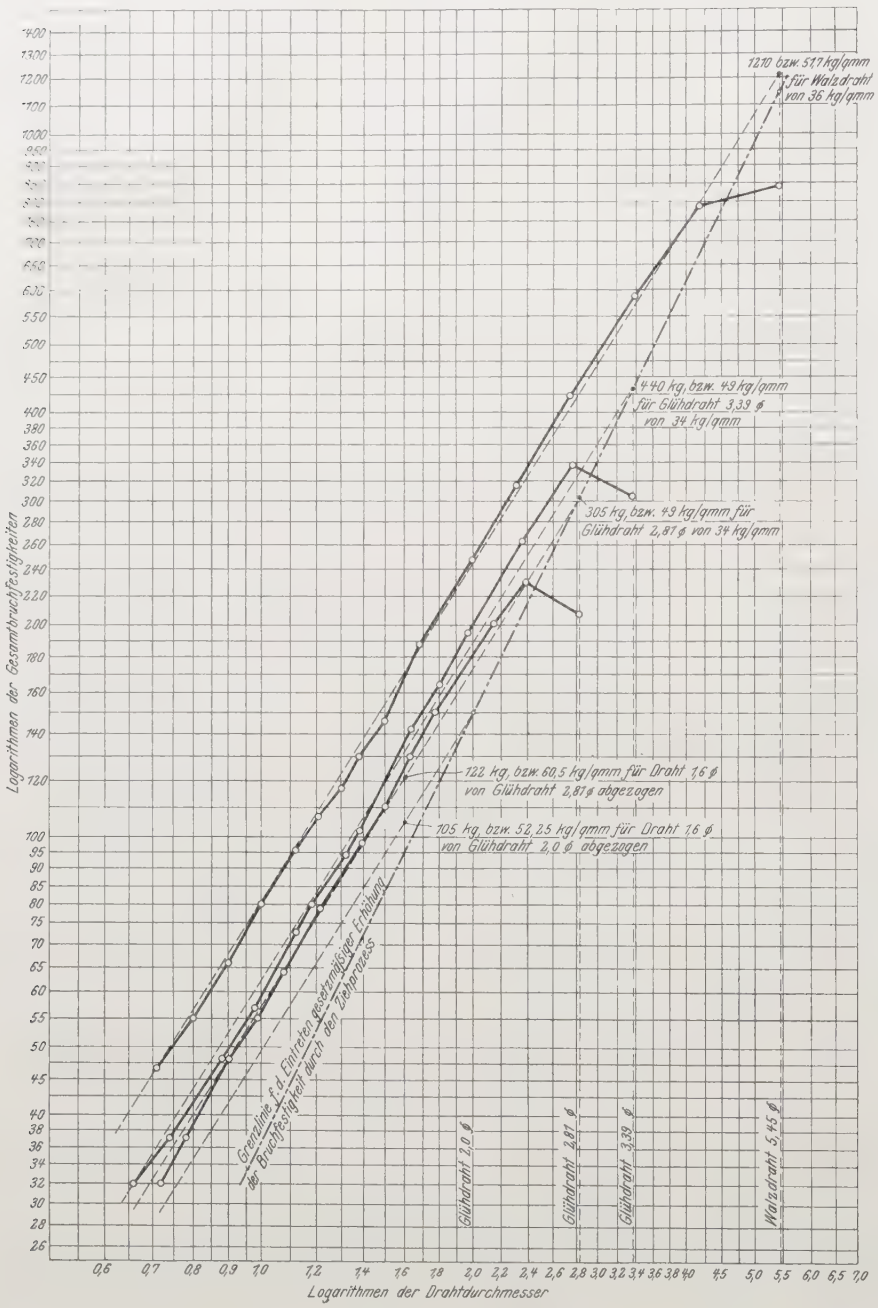

Abbildung 5.
Logarithm.-graphische Darstellung der Festigkeitsversuche an Probe C, zugleich logarithm.-graphisches Verfahren zur Ermittlung der Bruchfestigkeit.

nur in der graphischen Darstellung nach Festlegung der Verhältnisse für den Walzdraht eine Ordinate in dem dem bestimmten Ausgangs-Glühdraht entsprechenden Punkt zu errichten und erhält im Schnittpunkt mit der Linie gleicher Bruchfestigkeiten für die Kontraktionsquerschnitte den Ausgangspunkt für die Linie der Gesamtbruchfestigkeiten aller von diesem bestimmten Glühdraht gezogenen Drähte. Diese Linie ist eine Parallele zur entsprechenden Linie für den Walzdraht. Hatten Walz- und Glühdrahtverschiedene spezifische Bruchfestigkeit, so verschieben sich diese Parallelen im Verhältnis der Anfangsbruchfestigkeit, wie dies ein Vergleich bei Probe C dartut. Ungleichheiten in den Bruchfestigkeiten an beiden Enden ein und desselben Walzdrahtringes, herrührend von ungleichmäßiger Abkühlung während des Walzprozesses, kann natürlich dieses Verfahren keine Rechnung tragen, es sei denn, daß für beide Enden gesondert Festigkeitsproben der beiden ersten Züge angestellt werden. Gerade hier tritt uns besonders deutlich der Wert des von Longmuir* geforderten Ausglühens der Walzdrähte vor Beginn des Ziehprozesses entgegen. Für so behandelte Drahtadern dürfte sich das eben angeführte logarithmisch-graphische Verfahren zur Bestimmung der Bruchfestigkeiten ohne Schwierigkeit anwenden lassen. Streng genommen, gilt es zwar nur für ein und denselben Walzdrahtring und ihm entstammende Glühdrähte, aber, abgesehen von sehr starken Seigerungserscheinungen, dürfte es auch für die Walzdrähte ein und derselben Charge und wahrscheinlich wohl auch für Drähte gleicher chemischer Zusammensetzung im allgemeinen seine Gültigkeit behalten.

* Percy Longmuir: Some Aspects of Wire-Drawing. Engineering 1912, S. 524.

Sehr interessant ist es nun, diese Veränderung der Bruchfestigkeit durch den Ziehprozeß gleichzeitig mit den Veränderungen der Bruchbiegezahlen zu studieren und die Wechselwirkungen beider festzustellen.

Biegbarkeit.

Die Bestimmung der Bruchbiegezahlen bei Flußeisendrähten ist in der Literatur bisher noch wenig behandelt worden, obwohl es gerade für die Drahtindustrie und verwandte Gebiete von nicht unwesentlichem Vorteil ist, für ein gegebenes Drahtmaterial von vornherein zu wissen, wie sich dasselbe bei verschiedenen Drahtstärken der Biegung gegenüber verhalten wird. Besonders trifft dies zuweilen für Fabriken zu, welche Flußeisendrähte in ihren Betrieben weiterverarbeiten. Aus der Unkenntnis der für die Biegung maßgebenden Faktoren und Gesetze heraus werden oft außerordentliche Anforderungen an das Drahtmaterial gestellt, ohne zu berücksichtigen, ob dasselbe überhaupt unter normalen Verhältnissen solchen Biegungsanstrengungen gewachsen ist.

Bei Stahldrähten, besonders bei solchen Drähten, die für die Förderseilfabrikation in Frage kommen, hat man sich auf eine bestimmte Minimalzahl von Biegungen geeinigt, welche ein Material von beliebiger Bruchfestigkeit bei bestimmtem Durchmesser aushalten muß, von der Ueberzeugung ausgehend, daß neben einer hohen Verdrehungsfestigkeit eine große Biegungsfestigkeit für die Beurteilung der Güte des Drahtmaterials von entscheidendem Einfluß ist. Die Bruchfestigkeit des Drahtmaterials spielt dabei eine weniger große Rolle, weil es für eine gute Stahldrahtfabrik keine besonderen Schwierigkeiten bietet, die erforderliche Biegungszahl der Drähte durch den Patentier- und Zementierprozeß zu erreichen. Bei Flußeisendrähten aber ist eine Erhöhung der Bruchbiegezahlen bei ein und demselben Material im allgemeinen nicht möglich. Dieselben ergeben sich nach bestimmten, im folgenden zu erörternden Gesetzen. Für manche Lieferungen ist man aber auch schon längst bei Flußeisendrähten zu der Feststellung von Normen für die Biegezahlen bei bestimmten Drahtdurchmessern gekommen, Normen, wie sie z. B. die Reichspost für verzinkte Telegraphendrähte vorschreibt. Alle diese Zahlen sind aber reine Erfahrungszahlen, wie sie die Praxis aus sich selbst heraus ergeben hat, und sie entbehren mehr oder weniger der wissenschaftlichen Begründung. Speziell bei verzinkten Flußeisendrähten wird die Biegefestigkeit oft in bedeutendem Maße durch die mit der Verzinkung eintretenden chemischen Veränderungen des Materials sehr ungünstig beeinflußt, wie von Speer* angestellte Versuche erwiesen haben. Aus diesem Grunde können für die Ermittlung der Biegungsgesetze verzinkte Drähte nicht in Frage kommen, sondern allein blanke und geglühte Flußeisendrähte, wie sie die Drahtfabrikation erzeugt. Die seit langen Jahren ausgeübte Praxis des Drahtzuges hat, wie früher erwähnt, bestimmte Abnahmeverhältnisse beim Ziehprozeß gezeitigt, und man kann im allgemeinen sagen, daß ein Ueberstrecken eines in den üblichen Grenzen gezogenen Drahtmaterials wohl schwerlich eintreten wird. Ein einwandfreies Material vorausgesetzt,* werden sich also auch bei planmäßiger Ausführung von Biegeversuchen die für die Biegung maßgebenden Gesetze bei richtiger Durchführung des Ziehprozesses und richtiger Auswertung der Versuchsergebnisse mit ziemlich großer Sicherheit folgern lassen.

Zunächst sei auch hier nochmals auf den grundlegenden Begriff der Biegung und die in der Praxis üblichen Biegeapparate eingegangen. Unter der Biegung eines Drahtes versteht man allgemein in der Drahtbranche die Manipulation, diesen Draht in eingespanntem Zustande in beiderlei Sinn aus der Vertikalen in die Horizontale und zurück zu bewegen, unter gleichzeitigem Anpressen desselben an zwei gleiche Kreiskurven von bestimmtem Krümmungsdurchmesser. Dabei entspricht einer Biegung eine Bewegung des Drahtes um 180°. Die Anzahl der von einem Draht um einen Krümmungsbogen von bestimmtem Halbmesser nach dem oben angegebenen Verfahren ausgehaltenen Biegungen wird, wie oben bereits erwähnt, als ein gewisser Maßstab für die Qualität des Drahtmaterials erachtet, und es ist eine ganze Anzahl von Biegeapparaten ersonnen worden, die alle so ziemlich auf demselben Prinzip beruhen. Der Draht wird dabei in zwei Preßbacken eingespannt und durch eine Hebelbewegung auf Grund des Durchsteckverfahrens hin und her gebogen. Der eingespannte Draht wird bei diesem Verfahren durch die Oeffnung eines Bolzens gesteckt, der an dem Drehungshebel verstellbar angeordnet ist. Das Verfahren hat an sich den Nachteil, daß die Anpressung der Drähte, besonders derjenigen von größerer spezifischer Bruchfestigkeit, niemals ganz vollkommen entlang den Krümmungsflächen erfolgt, sondern durch die Federung des Drahtes vielmehr meist ein gewisser Abstand zwischen Draht und Krümmungsfläche verbleibt. Diesen Uebelstand nun hat Schuchart** dadurch zu beseitigen gesucht, daß er die Anpressung des Drahtes durch eine Rolle bewirkte, ein Verfahren, das auch bei den folgenden Versuchen zur Anwendung gelangte. Ein weiterer Nachteil, auf den Schuchart auch schon aufmerksam machte, ist in der Gestalt der Biegungsflächen beim Uebergang derselben aus den Flächen der Einspannvorrichtung zu suchen. (Siehe Abb. 6, a—d.) Es gibt 1. Apparate mit abgerundeten Preßbacken, bei denen also die

* Siehe Anmerkung S. 13, ebenda S. 838.

* Abzusehen ist dabei natürlich von gelegentlichen Biegungsresultaten, deren Werte ganz und gar von solchen am gleichen Draht unter gleichen Bedingungen erzielten abweichen, und die auf Sprünge im Material, Schlackeneinschlüsse usw. zurückzuführen sind.

** A. Schuchart der Aeltere: Untersuchung der Biegbarkeit von Drähten. Stahl und Eisen 1908, S. 945 ff.

Preßflächen selbst nach einer bestimmten Schablone in ihrem Auslauf ausgerundet sind, und 2. Apparate mit ebenen Preßbacken und darüber angeordneten zylindrischen Walzen, um welche die Biegung erfolgen soll. Beide Vorrichtungen (Abb. 6 a und 6 b) arbeiten bei sauberer Mechanikerarbeit einwandfrei, zeigen aber bei der Abnutzung durch den Gebrauch

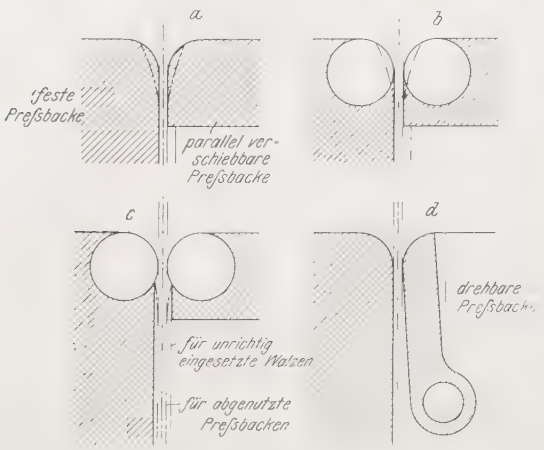

Abbildung 6.
Mögliche Fehler an Preßbacken von Biegeapparaten üblicher Konstruktion.

insofern die gleichen Nachteile, als mit wachsender Abnutzung sich der Krümmungshalbmesser verringert und — infolge Verringerung des Biegungsdurchmessers nach den später zu beweisenden Gesetzen — die Bruchbiegezahlen für ein und dasselbe Material ganz erheblich abnehmen. Die Ausführung mit zylindrischen Walzen hat den Vorteil, jederzeit den ursprünglichen Zustand der Krümmungsfläche durch Drehung bzw. Ersatz der Walzen herbeizuführen; hierbei ist aber wiederum das Einschleichen eines Uebelstandes am Apparat möglich, welcher auf den ersten Blick nicht sofort in die Augen springt (siehe Abb. 6 c). Sind nämlich die Walzen schlecht montiert oder die unteren Preßflächen schon stark abgenutzt gewesen, so wird sich beim Ersatz der zylindrischen Walzen zwischen diesen und den Preßflächen kein schlanker tangentialer Uebergang bilden, sondern eine Vertiefung entstehen, welche bewirkt, daß der Draht beim Zusammenpressen nicht allein in die Backen eingeklemmt wird, sondern auch durch die Walzen eine Einkerbung erleidet. Dies ist eine Beanspruchung, wie sie in gleicher Form auch bei Apparaten älterer Konstruktion sich oft unangenehm bemerkbar macht (Abb. 6 d), bei welchen eine Preßbacke fest und die andere drehbar um eine Achse gegen die erstere angedrückt wird, anstatt sie durch Parallelverschiebung der festen Preßbacke zu nähern. Ein Biegeapparat, der allen diesen möglichen Uebelständen abhilft, muß also einerseits nach dem Prinzip der Rollenanpressung gebaut sein und andererseits auswechselbare Walzen besitzen, die unabhängig von der Einspannvorrichtung jeweils tangential an den zu biegenden Draht angelegt werden können. Dies ist an dem beifolgend abgebildeten Apparat ermöglicht, dessen Anordnung aus der Abb. 7 hervorgeht. Als neu ist an demselben auch die schnelle Auswechselbarkeit der Krümmungszylinder zu bezeichnen, welche gestattet, innerhalb kürzester Zeit Walzen von verschiedenem Krümmungshalbmesser einzusetzen. Die Anpressung des Drahtes während der Biegung erfolgt bei dem Apparat durch eine in einem Schlitten verstellbar angeordnete Rolle. Die Bewegung des Schlittens geschieht entweder durch Hebelbewegung von Hand oder durch einen Kurbelmechanismus auf maschinellem Wege. Das Anheben des Drahtes übernehmen zwei Klinken, deren Form und Wirkungsweise gleichfalls aus der Abbildung ersichtlich sind. Der maschinelle Antrieb hat den großen Vorzug gleichmäßig einstellbarer Biegungsgeschwindigkeit, denn gerade diese spielt bei der Durchführung einwandfreier Versuche eine wichtige Rolle. Durch Unkenntnis der Nachteile, welche ein zu schnelles Biegen mit sich bringt, wird oft stark gesündigt und das Resultat der Biegeversuche entstellt. Besonders schwierig gestaltet sich die genaue Ermittlung der Bruchbiegezahlen bei geglühten Drähten, da dieselben bei der Biegung

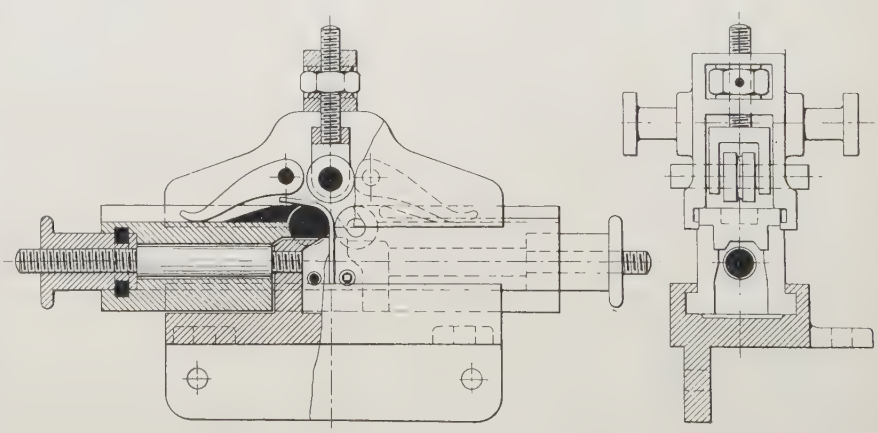

Abbildung 7. Einstellbarer Drahtbiegeapparat.

das Bestreben zeigen, seitlich auszuweichen. Dies mag daher rühren, daß das Biegen — als Kaltbearbeitung aufgefaßt — eine Zunahme der Bruchfestigkeit verursacht und daher die der Biegung bereits unterworfenen Stellen des Drahtes der nachfolgenden Biegungsanstrengung einen größeren Widerstand entgegensetzen als die noch ungebogenen Stellen. Letztere werden also der biegenden Kraft

früher nachgeben, d. h. die Mittellinie des Drahtes wird eine Verzerrung erleiden, die um so krasser zutage tritt, wenn der Angriff der biegenden Kraft außerhalb der durch den eingespannten Draht gegebenen, zu den Biegungszylindern senkrechten Ebene liegt. Das Anlegen des Drahtes an die Biegungszylinder erfolgt in diesem Falle nicht in einer Ebene nach einem Kreisbogen, sondern schraubenförmig schief zu den Biegungszylindern nach einer Raumkurve. Die Biegung selbst aber ist nicht als vollwertig zu rechnen, da die Spannung der äußeren Faser nicht in dem Maße hervorgerufen wird, wie bei der Biegung nach einem Kreisbogen. Das Biegen von Hand führt bei schwachen Glühdrähten immer noch am besten zum Ziel. Es wird hierbei ein gelinder Zug auf den Draht ausgeübt, um das seitliche Ausbiegen zu vermeiden, und durch das gleichzeitige Anpressen des Drahtes mit dem Daumen ein genaues Anlegen an die Zylinderflächen herbeigeführt. Solange sich dieser Zug im elastischen Gebiet (beim Zerreißversuch des Drahtes) bewegt, wird wohl von einer zusätzlichen Beanspruchung des Drahtes nicht gesprochen werden können, die Biegeresultate werden also ihre volle Gültigkeit bewahren.

Schon Schuchart* weist auf die große Schwierigkeit hin, bei starken Drähten, welche bekanntlich eine geringe Zahl von Biegungen aufweisen, die Bruchbiegezahlen jeweils genau anzuschreiben. Eine geringe Verminderung oder Vermehrung der Biegezahl bedeutet prozentual in manchen Fällen einen Fehler bis zu 50 % und mehr.

Das Ziel vorliegender Arbeit war, eine Gesetzmäßigkeit für die oft scheinbar regellos in der Drahtfabrikation sich ergebenden Bruchbiegezahlen von ungeglühten Drähten zu ergründen, und für ein bestimmtes Material a priori, wenn möglich durch ein graphisches Verfahren, für jeden Drahtdurchmesser auf Grund einfacher Ueberlegungen diese Zahlen ungefähr anschreiben zu können. Zu diesem Zweck wurden zunächst die geglühten Drähte untersucht, die diesen ungeglühten Drähten entsprachen, sodann die ungeglühten Drähte Biegeversuchen unterworfen und durch Vergleich der Bruchbiegezahlen beider Drahtarten die Gesetze für die Wechselbeziehungen festgestellt. Hand in Hand ging dabei die bereits früher erwähnte Aufstellung der Beziehungen für die Erhöhung der Bruchfestigkeit beim Ziehprozeß und die Ermittlung eines graphischen Verfahrens für diese Erscheinung. Um Irrtümer zu vermeiden, waren aus ein und demselben Walzdrahtring nacheinander die üblichen Züge heruntergezogen und von jedem Zug zwei Proben entnommen worden. Jeweils die Hälfte der Proben wurde zusammen im Glühtopf gut durchgeglüht, um eine gleichmäßige Glühe aller Stufen zu gewährleisten. Die Länge eines Probestückes war so bemessen, daß es zur Durchführung von etwa zehn Zerreiß- und Biegeversuchen ausreichte. Die Biegeversuche fanden um sechs verschiedene Biegungsdurchmesser statt, und zwar 25 mm, 22,5 mm, 20 mm, 15 mm, 12,5 mm und 10 mm Durchmesser. Es wurde zur Ermittlung der Biegungsgesetze zunächst eine Versuchsreihe für die bei den Zerreißversuchen verwendete Probe B vollständig durchgeführt, deren Ergebnisse nachstehende Zahlentafeln 6 a für Glühdrähte und 6 b für ungeglühte Drähte zeigen. Die Wechselbeziehungen zwischen Glühdrähten und ungeglühten Drähten wurden an Probe B sowohl wie an der auch schon erwähnten Probe C festgestellt. Probe C diente auch zur Kontrolle der bei Probe B gefundenen Gesetze für die Biegung.

Die geglühten Drähte zeigten bei Probe B eine ziemlich gleichmäßige spezifische Bruchfestigkeit pro qmm, dieselbe schwankte unwesentlich zwischen 33,1 und 34,45 kg pro qmm. Die ungeglühten Drähte dagegen wiesen mit fallendem Durchmesser Bruchfestigkeiten von 58 bis über 88 kg f. d. qmm auf. Die für die einzelnen Biegungsdurchmesser ermittelten Bruchbiegezahlen fallen, wenn auch bei geglühten und ungeglühten Drähten verschieden, doch durch eine gewisse Gesetzmäßigkeit auf, und zwar nehmen dieselben für einen bestimmten Draht, gleich ob ungeglüht oder geglüht, mit Verringerung des Biegungsdurchmessers ab. Bei seiner Untersuchung der Biegbarkeit von Flußeisendrähten gelangte bereits Schuchart auf Grund von Biegeversuchen zu sehr interessanten Ergebnissen, die im folgendeu nochmals nachgeprüft und, eventuell verallgemeinert, praktisch für die Ermittlung der Biegungsgesetze dienstbar gemacht werden sollen.

In der Praxis ist es allgemein üblich, die Größe der Inanspruchnahme bei der Biegung durch die Dehnung ε zu bestimmen, und zwar ist dieselbe für die Länge $l = 1$ der neutralen Faser, dem Krümmungshalbmesser ς und die Stabdicke α

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{2\,\varsigma}$$

Theoretisch ist dies zwar nicht berechtigt, da das Gesetz nur innerhalb der Proportionsgrenze gültig ist. Es gibt jedoch praktisch brauchbare Werte, wie im folgenden gezeigt wird. Für die Auswertung der Versuchsergebnisse ist es aber vorteilhaft, nach Schucharts Vorgang, statt mit dem Krümmungshalbmesser der neutralen Faser mit dem Durchmesser der äußeren Faser, $(2\,R + \delta)$ zu rechnen, wo $2\,R$ den Krümmungsdurchmesser für die Biegungszylinder und δ die Drahtstärke bedeuten. Mit diesen Bezeichnungen geht vorstehender Ausdruck in die Form über

$$\varepsilon = \frac{\delta}{2\,R + \delta}.$$

Dieser Begriff wird allgemein als Biegegröße bezeichnet. — Als erster Fundamentalsatz muß nun zunächst ausgesprochen werden, daß zwei Drähte dieselben Biegezahlen aufweisen werden, wenn sie — gleiche Bruchfestigkeit f. d. qmm vorausgesetzt — gleichen Biegegrößen ausgesetzt werden, d. h. also, wenn

* Siehe Anmerkung S. 17.

Zahlentafel 6. Zusammenstellung der Versuchswerte der Bruchbiegeversuche an Probe B.

a) geglühte Drähte.

Drahtstärke	Querschnitt	Bruchfestigkeit pro Draht	Bruchfestigkeit pro qmm	Anzahl der Biegungen um 25 mm ⊙	um 25 mm ○	um 25 mm Φ äußere Biegefaser	um 22,5 mm ⊙	um 22,5 mm ○	um 22,5 mm Φ äußere Biegefaser	um 20 mm ⊙	um 20 mm ○	um 20 mm Φ äußere Biegefaser	um 15 mm ⊙	um 15 mm ○	um 15 mm Φ äußere Biegefaser	um 12,5 mm ⊙	um 12,5 mm ○	um 12,5 mm Φ äußere Biegefaser	um 10 mm ⊙	um 10 mm ○	um 10 mm Φ äußere Biegefaser
mm	qmm	kg	kg																		
5,73	25,787	853,5	33,15	20,5	*20*	30,73	19,5	*17,5*	28,23	15,5	*15,5*	25,73	12	*12*	20,73	11,5	*10,5*	18,23	9,5	*8,5*	15,73
4,20	13,854	468,5	33,80	33	*28*	29,20	24,5	*24*	26,70	20	*21,5*	24,20	16	*15,5*	19,20	14,5	*13,5*	16,70	9	*10,5*	14,20
3,40	9,079	302,5	33,65	35,5	*38*	28,40	32	*33*	25,90	28	*29*	23,40	19	*21*	18,40	19,5	*17,5*	15,90	13	*13,5*	13,40
2,785	6,090	206,5	33,90	51,5	*50*	27,785	41	*42,5*	25,285	35	*37*	22,785	22	*25,5*	17,785	22	*21*	15,285	17	*16*	12,785
2,395	4,518	149,5	33,10	69	*65*	27,395	52	*55*	24,895	48	*45*	22,395	29	*32,5*	17,395	26,5	*26,5*	14,895	21,5	*19,5*	12,395
1,98	3,079	100,5	33,63	98	*90*	26,98	76	*75*	24,48	60	*63*	21,98	37	*42*	16,98	34,5	*33,5*	14,48	25	*24*	11,98
1,69	2,243	76	33,82	141	*130*	26,69	122	*108*	24,19	103	*89*	21,69	47,5	*57*	16,69	42,5	*44*	14,19	28	*31*	11,69
1,585	1,974	68	34,45	(116)	*155*	26,585	128	*128*	24,085	117	*105*	21,585	57	*66*	16,585	52	*51*	14,085	34	*35,5*	11,585
1,47	1,697	58	34,20	200	*180*	26,47	160	*150*	23,97	123	*122*	21,47	63	*76*	16,47	58,5	*58*	13,97	38	*40,5*	11,47

b) ungeglühte Drähte.

4,20	13,854	821,6	59,25	18	*16,5*	29,20	15	*15*	26,70	12	*13*	24,20	11	*9,3*	19,20	8	*8*	16,70	7,5	*6*	14,20
3,40	9,079	589	64,9	18,5	*19,5*	28,40	18	*17,5*	25,90	13,5	*15*	23,40	11	*11*	18,40	9,5	*8,5*	15,90	7,5	*7*	13,40
2,805	6,180	438	71,0	29	*25*	27,80	20	*22,5*	25,30	18	*18,5*	22,80	14	*13*	17,80	10,5	*10,5*	15,30	8	*8*	12,80
2,39	4,486	340,5	75,8	30	*33*	27,39	25	*29*	24,89	25	*23,5*	22,39	15	*15,5*	17,39	12,5	*12,5*	14,89	9,5	*9,5*	12,39
1,98	3,079	260,5	84,5	51,5	*40*	26,98	36	*35*	24,48	26	*28*	21,98	17	*18,5*	16,98	13,5	*14,5*	14,48	11	*11*	11,98
1,69	2,243	198,5	88,5	49	*55*	26,69	52,5	*48*	24,19	36,5	*37,5*	21,69	25	*23,5*	16,69	18,5	*18*	14,19	13,5	*13,5*	11,69
1,59	1,986	174,5	87,4	55	*58*	25,59	62	*61,5*	24,09	38	*40*	21,59	25,5	*25*	16,59	18,5	*19*	14,09	13,5	*14*	11,59
1,475	1,708	150	87,9	63	*65*	26,475	65	*56,5*	23,975	40	*43*	21,475	26	*27*	16,475	19	*20,5*	13,975	16	*15*	11,475

⊙ Durch Versuch ermittelte Werte. ○ Aus Zeichnung gefundene Werte.

δ_1 und δ_2 die betreffenden Drahtdurchmesser, $2\,R^1$ und $2\,R_2$ die für die Biegung maßgebenden Biegungszylinderdurchmesser bedeuten:

$$\text{I)} \qquad \frac{\delta_1}{2\,R_1 + \delta_1} = \frac{\delta_2}{2\,R_2 + \delta_2}.$$

Diese Bezeichnung läßt sich aber auch schreiben

$$(2\,R_2 + \delta_2) = \frac{\delta_2}{\delta_1}\,(2\,R_1 + \delta_1); \quad 2\,R_2 = \frac{\delta_2}{\delta_1}(2\,R_1 + \delta_1) - \delta_2,$$

d. h. also (die Richtigkeit dieser Annahme vorausgesetzt), falls für einen Draht der Drahtdurchmesser, der Durchmesser der Biegungszylinder und die entsprechende Bruchbiegezahl bekannt sind, kann man für einen zweiten Draht von genau demselben Material und gleicher spezifischer Bruchfestigkeit, aber anderem Durchmesser, den Durchmesser des Biegungszylinders ermitteln, um welchen gebogen, er dieselbe Bruchbiegezahl liefert. Schuchart kam bei seinen Versuchen zum gleichen Resultat.

Folgende Beispiele aus Zahlentafel 6 a (Glühdrähte), für Versuchswerte der Probe B angewandt, erhärten die Richtigkeit des oben aufgestellten Gesetzes. Draht 4,2 mm Durchmesser lieferte bei 22,5 mm Biegungszylinderdurchmesser 24,5 Biegungen; welcher Biegungszylinder ergab die gleiche Anzahl von Biegungen für Draht 2,0 mm Durchmesser?

$$\delta_1 = 4{,}2; \quad 2\,R_1 = 22{,}5; \quad Z_1 = 24{,}5; \quad \delta_2 = 2{,}0$$

$$2\,R_2 = \frac{2{,}0}{4{,}2}\,(22{,}5 + 4{,}2) - 2{,}0 = 12{,}7 - 2{,}0 = 10{,}7\text{ mm }\Phi$$

Draht 2,0 (1,98) mm Durchmesser lieferte um 10 mm gebogen 25 Biegungen. — Ferner: Draht 3,4 mm Durchmesser lieferte für 15 mm Biegungszylinderdurchmesser 19 Biegungen; der Biegung um welchen Zylinderdurchmesser entsprach die gleiche Anzahl von Biegungen für Draht 2,4 mm Durchmesser?

$$\delta_1 = 3{,}4; \quad 2\,R_1 = 15; \quad Z_1 = 19; \quad \delta_2 = 2{,}4$$

$$2\,R_2 = \frac{2{,}4}{3{,}4}\,(15 + 3{,}4) - 2{,}4 = 13 - 2{,}4 = 10{,}6\text{ mm }\Phi.$$

Draht 2,4 mm lieferte um 10 mm Durchmesser gebogen Z = 21,5 Biegungen.

Beispiele für ungeglühte Drähte können an dieser Stelle noch nicht angeführt werden, da sich die Richtigkeit des Gesetzes nur für Material gleicher Bruchfestigkeit versteht, diese aber bei den Drähten der Zahlentafel 6 b für Probe B stetig ansteigt.

Ein Vergleich der Biegeversuche an Drähten verschiedensten Materials führte ferner zur Aufstellung der Beziehung, daß, gleiche spezifische Bruchfestigkeit vorausgesetzt, die Produkte aus Bruchbiegezahl und Quadrat der Biegegröße für ein und dasselbe Material bei verschiedenen Drahtdurchmessern und Biegungszylinderdurchmessern eine konstante Größe darstellen.

Mit obigen Bezeichnungen ergäbe sich also der Ausdruck:

$$\text{II)}\; Z_1 : Z_2 = \left(\frac{\delta_2}{2\,R_2 + \delta_2}\right)^2 : \left(\frac{\delta_1}{2\,R_1 + \delta_1}\right)^2;$$

$$Z_1\left(\frac{\delta_1}{2\,R_1 + \delta_1}\right)^2 = Z_2\left(\frac{\delta_2}{2\,R_2 + \delta_2}\right)^2 = \text{Const.}$$

Für die Richtigkeit dieser Annahme sprechen die Ergebnisse der Untersuchung zweier Spezialfälle. Wird zunächst $R_1 = R_2$, so geht diese Gleichung in den Ausdruck über

$$*\text{IIa)} \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\delta_2^2}{\delta_1^2}\left(\frac{2R_1+\delta_1}{2R_1+\delta_2}\right)^2;$$

$$Z_1 \cdot \left(\frac{\delta_1}{2R_1+\delta_1}\right)^2 = Z_2 \cdot \left(\frac{\delta_2}{2R_1+\delta_2}\right)^2 = \text{Const.}$$

d. h. Parabelgleichung für $x = Z$ und $y = \frac{2R+\delta}{\delta}$ = rezipr. Wert von $\varepsilon = \frac{\delta}{2R+\delta}$.

Auf unser Beispiel der Werte für die Probe B der Zahlentafel 6 a übertragen, hieße das, daß z.B. der Draht 1,6 mm Durchmesser um den Durchmesser von 22,5 mm gebogen, eine Biegezahl von 137 aufweisen müßte, wenn der Draht 4,2 mm Durchmesser um den gleichen Durchmesser gebogen 24,5 Biegungen ausgehalten hätte. Es wäre nämlich $\delta_1 = 4{,}2$; $2R_1 = 22{,}5$; $Z_1 = 24{,}5$; $\delta_2 = 1{,}6$. Nach obiger Gleichung ermittelte sich dann

$$Z_2 = 24{,}5 \cdot \frac{4{,}2^2}{1{,}6^2} \cdot \frac{24{,}1^2}{26{,}^2} = 137.$$

Der Biegeversuch lieferte 127 Biegungen, also einen Wert, der um etwa 7½ % von dem Rechnungswert abweicht. Draht 3,4 mm Durchmesser hielt nach Zahlentafel 6 a für Glühdrähte um 20 mm gebogen 28 Biegungen aus; welche Bruchbiegezahl müßte rechnerisch, obigem Gesetz gemäß, ein Draht 2,4 mm Durchmesser um den gleichen Durchmesser gebogen liefern? Es wäre in diesem Falle $\delta_1 = 3{,}4$; $\delta_2 = 2{,}4$; $2R = 20$; $Z_1 = 28$.

$$Z_2 = 28 \cdot \frac{3{,}4^2}{2{,}4^2} \cdot \frac{22{,}4^2}{23{,}4^2} = 51{,}5 \text{ Biegungen,}$$

statt der durch den Versuch ermittelten 48 Biegungen. Für diesen Spezialfall also, wenn die Biegung um gleiche Zylinderdurchmesser erfolgt, hätte das aufgestellte Gesetz im allgemeinen seine Gültigkeit, wenn man bedenkt, daß es sich auch um die Biegung von Glühdrähten bei den angeführten Beispielen handelt und nach den eingangs erwähnten Schwierigkeiten bei der Biegung von Glühdrähten Abweichungen in den Bruchbiegezahlen von 5 bis 10 % nichts Auffallendes bieten.

Ein zweiter Spezialfall wäre der, daß die Drahtstärken δ_1 und δ_2 gleich wären. Unter dieser Voraussetzung ginge unsere Beziehung über in die Form

$$\text{IIb)} \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{(2R_1+\delta_1)^2}{(2R_2+\delta_1)^2};$$

$$\frac{Z_1}{(2R_1+\delta_1)^2} = \frac{Z_2}{(2R_2+\delta_1)^2} = \text{Const.}$$

Das ist aber eine Parabelgleichung für $x = Z$; $y = 2R + \delta$. Dieser Ausdruck bedeutet also, daß bei der Biegung eines Drahtes um verschiedene Biegungszylinder die entsprechenden Bruchbiegezahlen in quadratischem Verhältnis wachsen oder, analytisch gesprochen, daß auch die Bruchbiegezahlen auf einer Parabel liegen. In großen Zügen betrachtet, bestätigen die Versuche auch diese Folgerung aus der Beziehung Nr. II. Zahlentafel 6 a für Glühdrähte von Probe B lieferte z. B. für Draht 1,98 mm Durchmesser für die Biegung um den Durchmesser von 22,5 mm 76 Biegungen und für den Durchmesser von 20 mm des Biegungszylinders 60 Biegungen. Es wäre bei obigen Bezeichnungen rechnerisch:

$$Z_2 = 76 \cdot \frac{(20+2)^2}{(22{,}5+2)^2} = 61{,}25.$$

Auf dem gleichen Wege wäre für Draht 2,4 mm Durchmesser für die Biegung um einen Biegungszylinder von 20 mm zu ermitteln, daß die Biegezahl hierfür 46 sei, statt der durch Versuchswerte ermittelten 48 Biegungen, sofern die Biegezahl für 25 mm Durchmesser für den gleichen Draht 69 beträgt. — In obigen Ermittlungen ist absichtlich der ganz genaue Durchmesser des Drahtes (z. B. 1,98 statt 2,0 mm) nicht berücksichtigt worden, da sich so kleine Differenzen in der Drahtstärke im Vergleich zu den Abweichungen der Biegezahlen unter sich als unwesentlich erweisen.

Durch die Aufstellung der Beziehungen II a und II b sind die bei der Biegung von Glühdrähten in Betracht kommenden Gesetze auf einfache mathematische Ausdrücke zurückgeführt worden. Ein Blick auf Zahlentafel 6 b für Probe B zeigt aber auch für ungeglühte Drähte von bestimmtem Durchmesser ein Steigen der Biegezahlen mit wachsendem Biegungszylinderdurchmesser, da hier die Voraussetzung gleicher Bruchfestigkeit des Materials erfüllt wird. Es ist z. B. für den ungeglühten Draht 2,0 mm Durchmesser (1,98) : $Z_1 = 34$ Biegungen, bei $(2R+\delta) = (22{,}5+2)$, Z_2 für $(2R_2+\delta) = (15+2)$ gleich 17 Biegungen, statt rechnerisch 16,4 Biegungen.

Es wurde nun versucht, die Versuchspunkte kurvenmäßig in einer graphischen Darstellung zu ordnen, und zwar waren in derselben die Biegezahlen Z auf der X-Achse und die Durchmesser der äußeren Drahtfasern $(2R+\delta)$ auf der Y-Achse aufgetragen worden. Für beide Versuchsreihen, also für geglühte und ungeglühte Drähte, reihten sich die Versuchswerte ohne großen Zwang nach Kurven ein; aber der Versuch, sämtliche Kurven, oben erwähnten Erwägungen und dem Beispiele Schucharts folgend, als Parabeln ansprechen zu wollen, erwies sich nur für eine gewisse Art der Kurven, nämlich die Kurven gleicher Biegungszylinderdurchmesser, einigermaßen als durchführbar. Die Kurven für gleiche Drahtdurchmesser hingegen zeigten zwar einen parabelartigen Verlauf, aber nur ein ganz kleiner Prozentsatz derselben war in völliger Uebereinstimmung mit der oben abgeleiteten Beziehung als Parabeln zu bezeichnen. Wie sich aus nachfolgender Ueberlegung ergeben wird, waren die anderen Kurven Parabeln höherer Ordnung von der

* Schuchart behandelt die unter IIa und IIb angeführten Spezialfälle gesondert und gelangt dabei zur Aufstellung ähnlicher Beziehungen. Bei Biegung um große Biegungsdurchmesser, bei denen also δ gegenüber $2R$ zu vernachlässigen wäre, dürften die nach beiden Rechnungsverfahren ermittelten Ergebnisse übereinstimmen.

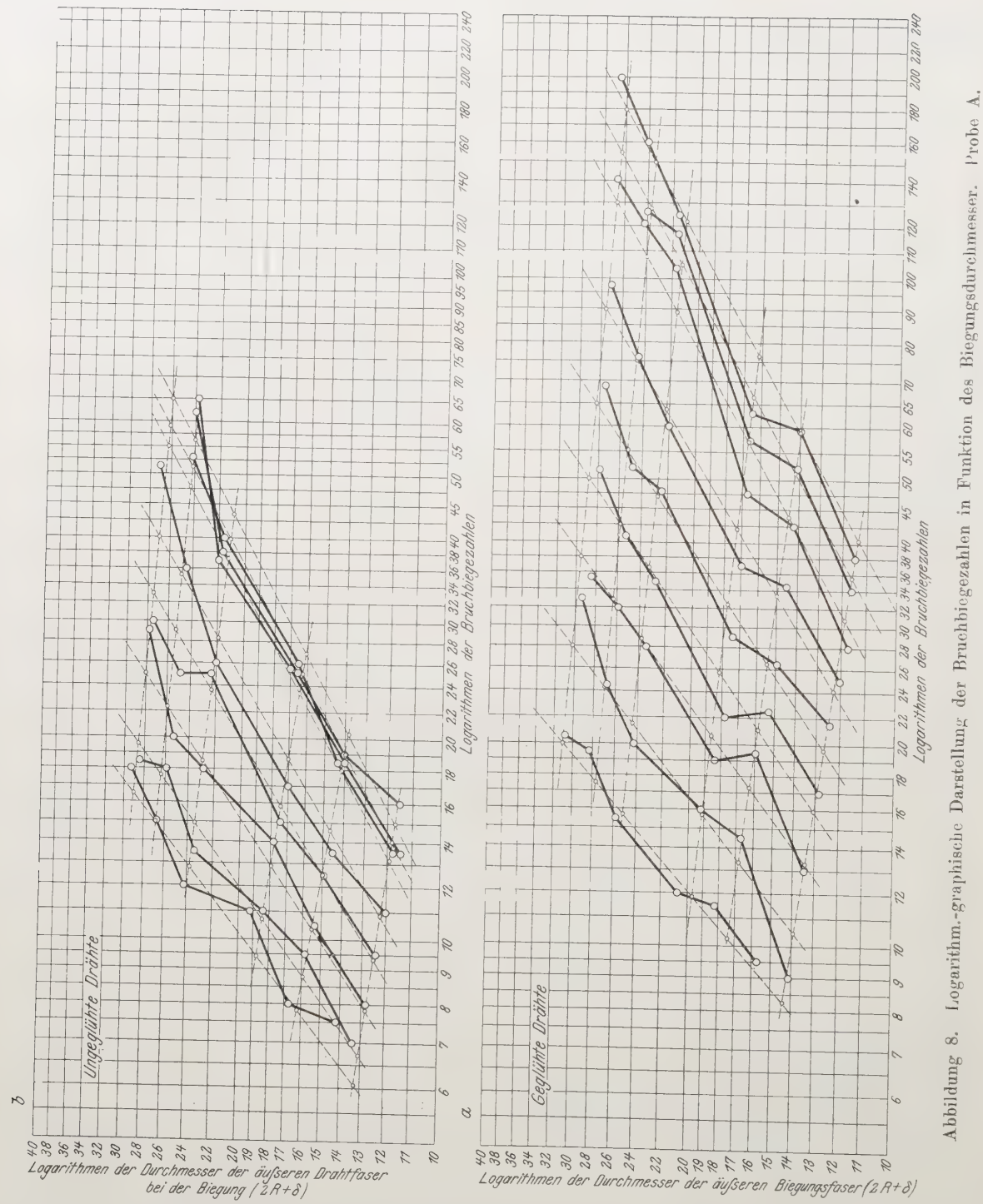

Abbildung 8. Logarithm.-graphische Darstellung der Bruchbiegezahlen in Funktion des Biegungsdurchmesser. Probe A.

Form $y^n = ax$. Die lineare graphische Darstellung wurde, weil für diese Arbeit zwecklos, nicht aufgenommen.

Ob nun die Abweichung der Kurven der Biegezahlen von der Parabelform nur Zufall oder in der Materialzusammensetzung zu suchen und vielleicht auf Seigerungserscheinungen zurückzuführen ist, von denen die Proben B und C auch nicht absolut frei waren, möge dahingestellt bleiben. Dieser Mangel haftet ja bekanntlich jedem Flußeisenmaterial in mehr oder minder starkem Maße an.

Interessant ist es nun, das Schaubild dieses Vorganges in einer logarithmisch-graphischen Darstellung der Biegungen zu verfolgen, in welcher die Abszissen die Logarithmen der Bruchbiegezahlen Z, und die Ordinaten die Logarithmen der äußeren Biegefasern $(2\,R + \delta)$ darstellen. Die Kurven der Versuchswerte für die untersuchten Drähte erscheinen hier als

gerade Linien, weil durch die Logarithmierung die Exponentialfunktion $y^n = ax$ in die lineare Funktion

$$\log y = \frac{1}{n} (\log a + \log x)$$

übergegangen ist, in welcher Form sie auch als gerade Linie von der Form

$$\eta = \frac{1}{n} \xi + \text{Const.}$$

erscheint. Eine Aufzeichnung nach diesem Verfahren (siehe Abb. 8) für die Versuchswerte der Probe B läßt sowohl für geglühte wie für ungeglühte Drähte eine Verringerung des Neigungswinkels der durch die Versuchspunkte gelegten Geraden mit fallendem Drahtdurchmesser erkennen. Setzt man in letztgenannter Beziehung

$$\frac{1}{n} = \operatorname{tg} \alpha,$$

wo α den Neigungswinkel dieser Geraden gegen die Abszissenachse bedeutet, so wird für die vorliegenden Versuche an Probe B mit den der Abbildung entnommenen Längen für Ordinate und Abszisse, $\operatorname{tg} \alpha$ für Walzdraht = 0,777 und fällt bis 0,515 für Draht 1,6 mm Durchmesser. Für $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}5$ entspricht die Gerade im logarithmischen Schaubild einer Parabel zweiten Grades in der gewöhnlichen linearen graphischen Darstellung. Für Draht 1,6 mm Durchmesser wäre also die Uebereinstimmung der theoretisch gefundenen Kurve der Bruchbiegezahlen mit der durch die Versuchspunkte belegten Linie fast vollständig. Man kann aus der logarithmisch-graphischen Darstellung ohne Schwierigkeit sowohl für geglühte wie für ungeglühte Drähte erkennen, daß sich die Punkte für gleiche Biegungszylinderdurchmesser auf Parabeln höherer Ordnung bewegen, ebenso wie dies auch für die Punkte gleicher Drahtdurchmesser der Fall ist. Bei ersteren ist die Anpassung an Parabeln zweiten Grades weniger schwierig, und außerdem die Konvergenz der Linien unbedeutend; für die Kurven gleicher Drahtdurchmesser ist dies aber infolge ihrer Neigung zur Abszissenachse unmöglich und sie schneiden sich auch rückwärts verlängert in einem Punkte, während sie als Parabeln zweiten Grades theoretisch parallel sein müßten. Interessant ist es auch, an den Geraden zu verfolgen, wie sich sowohl für geglühte wie für ungeglühte Drähte der eventuell mögliche Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Materials in gleicher Weise geltend macht, denn die einander entsprechenden Linien der beiden Diagramme sind als parallel oder als nahezu parallel zu bezeichnen.

Zur Erleichterung der logarithmisch-graphischen Darstellung wurde wiederum logarithmisch geteiltes Millimeterpapier benutzt, dessen Anwendung sich auch für das im folgenden erläuterte graphische Verfahren zur Auffindung der Bruchbiegezahlen eines Drahtes von beliebigem Durchmesser von großem Vorteil erwies. Hat man nämlich sowohl für Glühdrähte wie für ungeglühte Drähte gleicher spezifischer Bruchfestigkeit eines bestimmten Materials an zwei Drahtstärken die Bruchbiegezahlen um zwei Biegungszylinder festgelegt, so sind damit sämtliche Bruchbiegezahlen für alle übrigen Drahtstärken annähernd bestimmbar, sofern diese Drähte ein und demselben Walzdrahtring entstammen. Eine Grenze dafür bildet in bezug auf die schwächeren Drahtstärken nur die Dehnbarkeit des Materials, welche sich durch ungesetzmäßiges Sinken der Bruchfestigkeit bei ungeglühten Drähten und durch Fallen der prozentualen Dehnung bei geglühten Drähten zu erkennen gibt. Man braucht zur Bestimmung der anderen Bruchbiegezahlen nur die vier Versuchspunkte auf logarithmisch geteiltem Millimeterpapier nach Maßgabe des oben Gesagten aufzutragen, entsprechend zu verbinden und bis zum eventuellen Schnitt zu verlängern. Dabei erhält man je nach den speziellen Verhältnissen ein Parallelogramm mit parallelen Geraden als Begrenzungslinien oder ein unregelmäßiges Viereck, dessen Begrenzungslinien konvergieren. Abb. 9a und 9b, S. 24 zeigen den Gang des Verfahrens für beide Möglichkeiten, und zwar für Drahtstärke 1,8 mm Durchmesser. Zwischenliegende Punkte für eine weitere Drahtstärke findet man nämlich durch sinngemäßes Einrücken mit $(2\,R + \delta)$. Waren z. B. die den Biegungsversuchen zuerst unterworfenen Drahtstärken 4,2 mm und 3,4 mm, so ergaben sich in einem Fall als Biegungszahlen um 25 mm Biegungszylinderdurchmesser 16,2 bzw. 24, und um 15 mm Biegungszylinderdurchmesser 10 bzw. 15. Die Verbindung der vier Punkte ergab in dem oben des näheren erläuterten logarithmischen Diagramm ein Parallelogramm (siehe Abb. 9a). Für Drahtstärke 1,8 mm war dann $(2\,R + \delta) = 26{,}8$ bzw. 16,8. Zieht man in diesen Abständen die Parallelen zur Abszissenachse, so schneiden diese einerseits die Linie für Biegungen um 25 mm Biegungszylinderdurchmesser in einem Punkte entsprechend 48 Biegungen, und andererseits die Linie für solche um 15 mm Biegungszylinderdurchmesser in einem Punkte entsprechend 30,5 Biegungen. Wäre nun (Abb. 9b) die an zwei Versuchsdrähten 4,2 und 3,4 mm zuerst gefundene Biegungszahl z. B. bei 25 mm Biegungszylinderdurchmesser 19,2 bzw. 26 und bei 15 mm Biegungszylinderdurchmesser 9,5 bzw. 12 gewesen, so hätte das Einrücken mit $(2\,R + \delta)$, also mit 26,8 mm bzw. 16,8 mm, zur Auffindung der Biegezahlen 42,5 bzw. 17,75 geführt. Auch Punkte für Biegungen um andere Biegungsdurchmesser lassen sich so ermitteln.

Man kann sich dieses Verfahren in gleicher Weise zur Bestimmung der Bruchbiegezahlen von geglühten Drähten wie von ungeglühten Drähten gleicher spezifischer Bruchfestigkeit zunutze machen, vorausgesetzt natürlich, daß alle diese Drähte vom gleichen Walzdrahtring stammen und durch direkte Züge ohne Zwischenglühe das Material in seiner Dehnbarkeit durch Ueberziehen nicht gelitten hat. Für weit außerhalb liegende Punkte empfiehlt sich Kontrolle nach Beobachtung II a.

Vorstehende Ausführungen zeigten an Hand der Versuchsresultate für ungeglühte und geglühte Drähte ein ähnliches gesetzmäßiges Verhalten bei der Biegung, nur waren für eine bestimmte Drahtstärke die an ungeglühten und geglühten Drähten

Bruchfestigkeit eines Drahtes ausfindig zu machen. Schon die oben erwähnte Parallelität der Linien gleicher Drahtdurchmesser im logarithmisch-graphischen Diagramm der Bruchbiegezahlen für geglühte und ungeglühte Drähte läßt auf einen Zusammen-

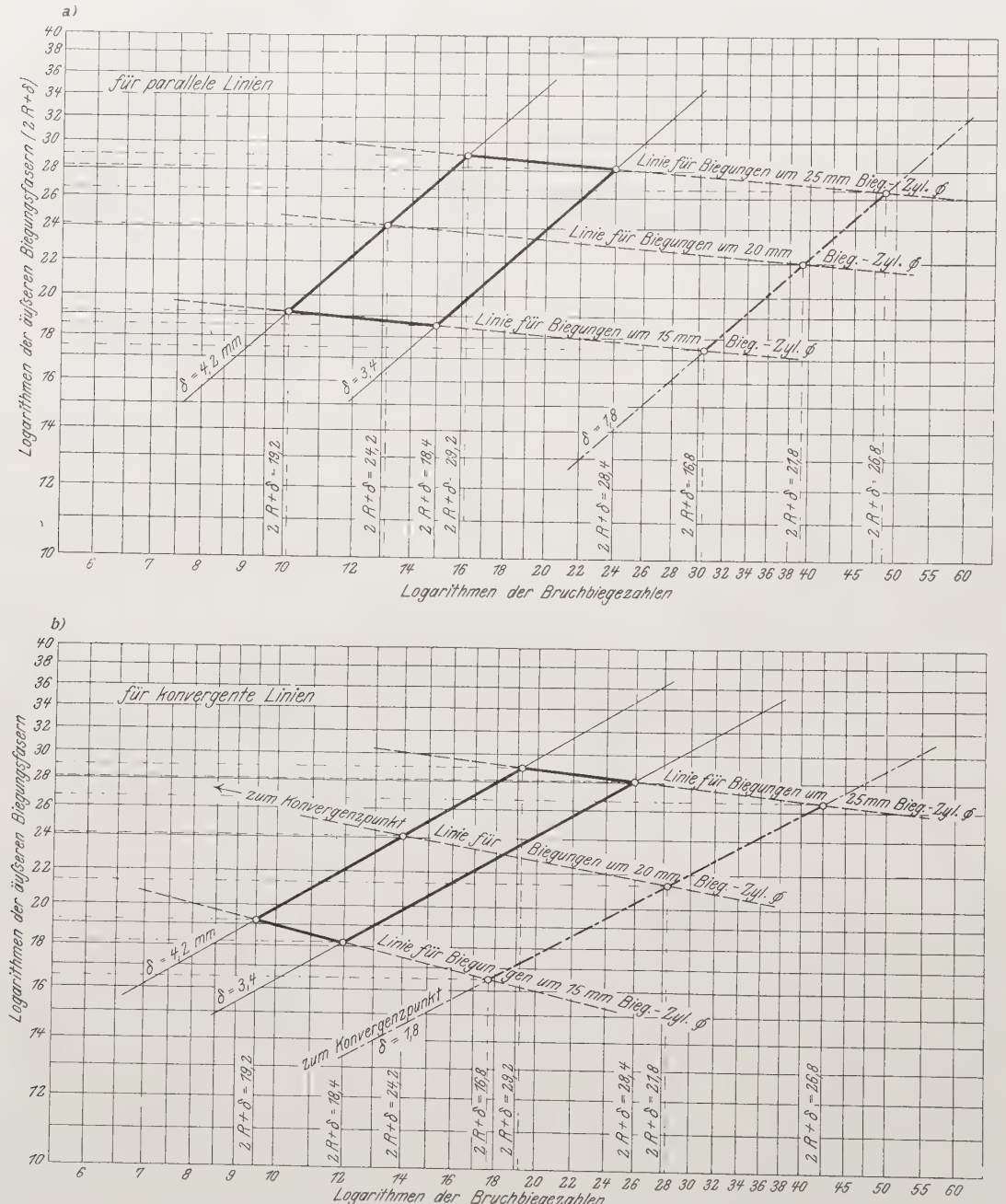

Abbildung 9. Logarithm.-graphisches Verfahren zur Ermittlung der Biegezahlen von Flußeisendrähten. Vorbedingung: Drähte gleicher spez. Bruchfestigkeit.

gefundenen Bruchbiegezahlen außerordentlich verschieden. Gerade der Vergleich dieser Bruchbiegezahlen aber für ein und dieselbe Drahtstärke bei geglühten und ungeglühten Drähten reizt zum Versuch, eine Beziehung zwischen Bruchbiegezahl und

hang der Biegezahlen und spezifischen Bruchfestigkeit schließen, denn die Biegezahlen fallen mit wachsender Bruchfestigkeit der einzelnen Drähte. Zunächst sollte man eigentlich annehmen, daß sich die Biegezahlen mit wachsender Bruchfestigkeit des

Drahtes proportional wie die Werte der Streckgrenzen verhalten, falls die von Kürth* und Stribeck** gefundenen Beziehungen für durch Kaltbearbeitung in seinen Festigkeitseigenschaften verändertes Material zu Recht bestehen sollen. Nun steht dem aber die Tatsache gegenüber, daß zwar geglühte Drähte eine sehr gut wahrnehmbare Streckgrenze aufweisen, daß dagegen gezogene Drähte entweder gar keinen oder doch nur einen kaum merklichen Uebergang von Streckgrenze und Bruchgrenze zeigen, eine Erscheinung, wie sie auch Seyrich§ des näheren beschrieben hat. Allgemein hat für Glühdrähte die Streckgrenze, wie schon früher erwähnt, einen Wert von etwa 60 % der Bruchfestigkeit, für ungeglühte Drähte einen solchen von etwa 90 % der letzteren. Es bleibt demnach nur ein Vergleich der Biegezahlen auf Grund der Bruchfestigkeiten übrig, denn ungeglühte Drähte könnten zwar unter sich, aber nicht mit Glühdrähten verglichen werden. Die von uns bisher betrachteten Diagramme umfassen Drähte, deren Bruchfestigkeit mit fallender Stärke zunimmt. Vergleicht man aber die Bruchbiegezahlen eines Drahtes für geglühte und ungeglühte Ausführung, so findet man die Beziehung III, daß sich die Biegezahlen umgekehrt verhalten wie die spezifischen Bruchfestigkeiten f. d. qmm. Fast durchweg konnte diese Beobachtung an den Versuchsergebnissen der Probe B mit Erfolg auf ihre Richtigkeit erprobt werden, und nur bei kleinen Biegungszylinderdurchmessern war ein höherer Wert der Bruchfestigkeit f. d. qmm zu bemerken, wenn man rechnerisch aus den ungeglühten Drähten die Bruchfestigkeit der geglühten Drähte auf Grund ihrer Biegezahl ermittelte. Es dürfte auch diese Eigentümlichkeit auf die mit der Biegung (als Kaltbearbeitung betrachtet) verbundene Erhöhung der Bruchfestigkeit zurückzuführen sein, da bei der Biegung um kleine Durchmesser infolge der großen Inanspruchnahme des Materials diese Erscheinung sich augenfälliger bemerkbar machen dürfte. Zur Illustrierung dieses Vorganges sei an die Erhöhung der spezifischen Bruchfestigkeit von Förderseildrähten erinnert, wie sie sich oft schon nach kurzer Betriebszeit an den verschiedenen Werten der Drahtbiegeproben kundgibt. In Zahlentafel 6 für Probe B sind für geglühte Drähte und ungeglühte Drähte sowohl die spezifischen Bruchfestigkeiten als auch die Bruchbiegezahlen verzeichnet; sie gestattet demnach auch die aus den ungeglühten Drähten rückwärts ermittelten Bruchbiegezahlen der geglühten Drähte mit den Versuchswerten zu vergleichen. Es läßt sich also mit ziemlich großer Sicherheit die Richtigkeit der mit III bezeichneten weiteren Beobachtung folgern.

Im vorhergehenden Abschnitt war nun auf Grund eines logarithmisch-graphischen Verfahrens die Möglichkeit geboten worden, für ein bestimmtes Walzdrahtmaterial und die ihm entstammenden Glühdrähte die jeweiligen Gesamtbruchfestigkeitswerte für Drähte beliebigen Durchmessers leicht ermitteln zu können. Dieses Verfahren mit den Folgerungen aus Beobachtung III verbunden, ermöglicht es aber auch, a priori für jeden beliebigen Draht die entsprechenden Bruchbiegezahlen ungefähr anschreiben zu können, wenn die Biegezahlen um zwei Biegungszylinderdurchmesser für die Drähte der beiden ersten Züge festgestellt wurden. Es sind noch deren Bruchfestigkeitszahlen zu ermitteln und die Kombination der beiden logarithmischen Diagramme — des Biegezahlendiagramms für Glühdrähte laut Abb. 9 und des früher erläuterten Bruchfestigkeitsdiagramms Abb. 5 — ergibt unter doppelter Anwendung von Beobachtung III das gesuchte Resultat, wenn Glühdraht im Durchschnitt mit 34 kg/qmm angenommen wird. Wie wir früher gesehen haben, sind ja die Kurven für die Bruchbiegezahlen von Glühdraht und ungeglühtem Draht beim Zug von Walzdraht abwärts parallel, also liegen die entsprechenden Kurven für Drähte mit Zwischenbruchfestigkeiten ebenfalls auf Parallelen zur Kurve der Biegezahlen für Glühdraht. Dieser Annahme steht nichts im Wege.

Die Richtigkeit des bisher Gesagten wurde an Probe C festgestellt, die bislang nur der Ermittlung der Festigkeitsgesetze diente. Die Biegeproben lieferten um die Biegungszylinder 25 mm und 15 mm gebogen für Draht 4,18 mm Durchmesser 20,5 bzw. 10 Biegungen, und für Draht 3,39 mm Durchmesser 25 bzw. 12,5 Biegungen. Die Bruchfestigkeiten ergaben sich zu 788 bzw. 588 kg entsprechend 57,5 und 65,1 kg/qmm. Auf Glühdraht von 34 kg/qmm umgerechnet, entsprachen obige Biegezahlen für Draht 4,18 mm Durchmesser 34,0 bzw. 17 Biegungen, und für 3,39 mm Durchmesser 49 bzw. 24 Biegungen. Soll nun beispielsweise die Biegezahl um 20 mm Biegungszylinderdurchmesser von 1,6 mm Durchmesser von Glühdraht 2,81 abgezogen bestimmt werden, so liefert das logarithmische Biegungsdiagramm Abb. 10 für Glühdraht 1,6 um 20 mm Biegungszylinderdurchmesser — 140 Biegungen, das logarithmische Bruchfestigkeitsdiagramm aber (Abb. 5) für Züge von Glühdraht 2,81 abwärts eine Bruchfestigkeit von 122 kg entsprechend 60,5 kg/qmm, was nach Beobachtung III 79 Biegungen entspricht. Der Versuch lieferte 80 Biegungen. Für 25 mm Biegungszylinderdurchmesser waren zur Kontrolle der Neigung der Linie gleicher Biegungsdurchmesser nach Beziehung II a für Glühdraht 1,6 : 198 Biegungen ermittelt worden (siehe Abb. 10). Auch das logarithmisch-graphische Biegungsdiagramm für ungeglühte, vom Walzdraht abgezogene Drähte kann man benutzen, da es ja gegen das Diagramm für

* A. Kürth: Ueber die Beziehung der Kugeldruckhärte zur Streckgrenze und zur Zerreißfestigkeit zäher Metalle. Mitteilungen über Forschungsarbeiten. Heft 66, Berlin, Springer 1909, S. 90.

** R. Stribeck: Kaltbearbeitung und Zugversuch. Z. d. V. d. I. 1909, S. 241.

§ K. A. Seyrich: Ueber die Einwirkung des Ziehprozesses auf die wichtigsten technischen Eigenschaften des Stahls. Dissertation, Dresden 1911, S. 43.

Glühdrähte nur parallel verschoben ist, doch ist es enger und deshalb etwas ungenauer. Nach Beobachtung III läßt sich auch aus diesem für jeden Draht von beliebiger Bruchfestigkeit die Linie der Bruchbiegezahlen ermitteln. Liegen für ein Material in einer graphisch-logarithmischen Darstellung beide Biegungsdiagramme vor — das für Glühdrähte und das für ungeglühte Drähte für Züge von Walzdraht abwärts — so kann man auch direkt durch geometrische Konstruktion die Bruchbiegezahlenkurven für Drähte von Zwischenbruchfestigkeiten finden.

gleichmäßigkeit des Materials, der Glühungen usw. nicht ganz genau, so geben sie doch dem Fabrikanten ein Mittel an die Hand, überschlägige Feststellungen über die Bruchbiegezahlen und Bruchfestigkeiten eines beliebigen Flußeisenmaterials zu machen und den Wünschen der Kundschaft in ziemlich weitgehendem Maße gerecht zu werden.

Das eben angeführte Verfahren zur Ermittlung der Bruchfestigkeiten und Biegezahlen der einzelnen Züge von irgendeinem Glühdraht abwärts dürfte noch nicht in der Literatur veröffentlicht worden

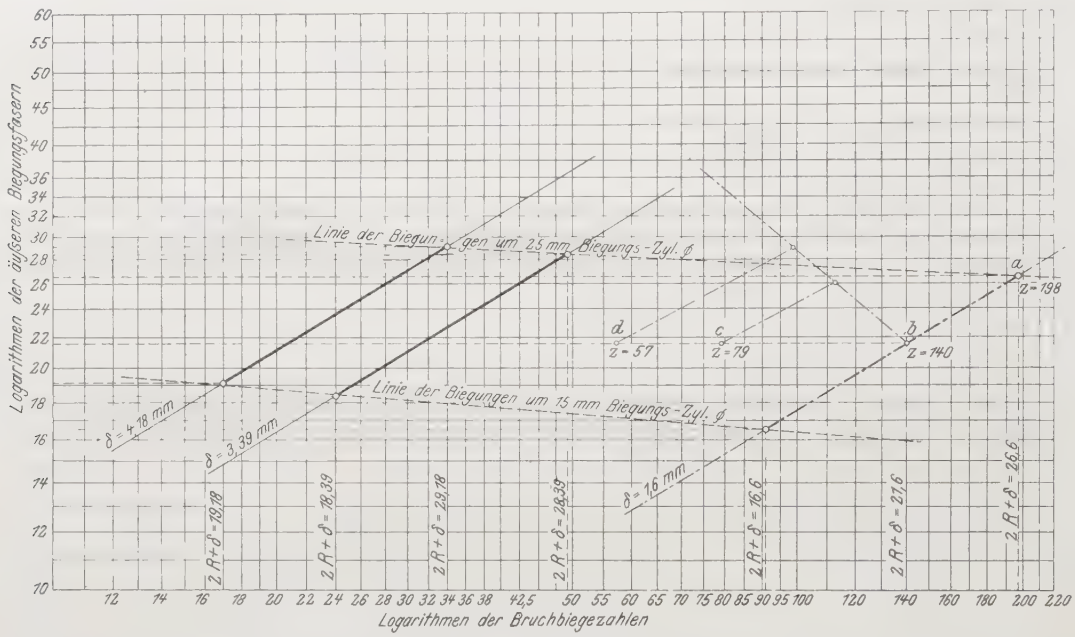

Abbildung 10. Logarithm. Diagramm für Glühdrähte der Probe C.

a = nach Zeichnung ermittelte und durch Rechnung kontrollierte Biegezahl um 25 mm Biegungszylinderdurchmesser für Glühdraht 1,6 mm Durchmesser von 34 kg/qmm.

b = Biegezahl des um 20 mm Biegungszylinderdurchmesser gebogenen Glühdrahtes 1,6 mm Durchmesser von 34 kg/qmm.

c = Gesuchte Biegezahl des von Glühdraht 2,81 mm Durchmesser abgezogenen Drahtes 1,6 mm Durchmesser von 60,5 kg/qmm um 20 mm Biegungszylinderdurchmesser.

d = Biegezahl des von Walzdraht 5,5 mm Durchmesser abgezogenen Drahtes 1,6 mm Durchmesser von 84,5 kg/qmm um 20 mm Biegungszylinderdurchmesser.

Die Verbindungslinie von zwei entsprechenden Punkten für gleiche Biegungszylinderdurchmesser ist bekanntlich der geometrische Ort für die Biegungen aller Drähte gleichen Durchmessers mit Zwischenbruchfestigkeiten, da die Kurven der Bruchbiegezahlen für die Drähte gleichen Durchmessers gegen die entsprechenden Kurven für ungeglühte und geglühte nur parallel verschoben sind. In der logarithmischen Darstellung muß diese Verschiebung aber logarithmisch erfolgen, d. h. man teilt nach dem bekannten Verfahren unter Zuhilfenahme des Rechenschiebers die oben genannte Verbindungslinie (in Abb. 10) nach der Steigung der Bruchfestigkeiten, anfangend mit der Bruchfestigkeit des Glühdrahtes. Dieses Verfahren ist in der Abbildung erläutert. Stimmen auch obige Ermittlungen infolge der Unsein, wenn es auch dem tatsächlichen Gebrauch in den Drahtziehereien entspricht. Nur ist man dort empirisch zu den gleichen Resultaten gelangt, die sich bei vorliegender Arbeit durch einfache Ueberlegungen ergaben. Auf die Fabrikation der Flußeisendrähte und nicht patentierter Stahldrähte werden sich die in derselben abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten ohne weiteres übertragen lassen, da bei Flußeisendrähten der Glühprozeß keine besonders merkliche Veränderung der Materialzusammensetzung bezüglich des Kohlenstotfgehaltes hervorzubringen scheint. Bei im Bleibad behandelten Stahldrähten müßten aber wohl zunächst noch für diese Veränderung des Materials beim Zementier- und Patentierprozeß Erfahrungswerte zu ermitteln sein, ehe die gefundenen Gesetze angewendet werden dürften.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Zunächst wurden an den Phasen des Drahtzuges von Walzdraht 13,85 mm Durchmesser abwärts für eine Probe A die Veränderungen des Gefüges untersucht. Die von Heyn ermittelten Verhältnisse über den Streckungsgrad der Ferritkörner in Rand- und Kernzone fanden im wesentlichen eine Bestätigung. Der verschiedenen Beanspruchung des Materials durch den Ziehprozeß entsprechend oder vielleicht auch durch Seigerungserscheinungen begründet, konnte festgestellt werden, daß eine Unterteilung der Ferritkörner nach quer zur Richtung der Streckung verlaufenden Bruchflächen bei den Körnern der Randzone weit später eintrat, als bei denjenigen der Kernzone, wiewohl der Vorgang der Unterteilung der Gefügebildner in diesem Sinne überhaupt erst verhältnismäßig spät beobachtet werden konnte. Eine Unterteilung nach in Richtung der Streckung verlaufenden Bruchflächen war dagegen schon nach dem zweiten Zuge feststellbar.

An den entsprechenden Drähten wurden Lösungsproben in einprozentiger Schwefelsäure angestellt und auch die bereits von Heyn sowie von Goerens ermittelte, mit wachsendem Kaltrecken gesteigerte größere Löslichkeit ungeglühter gezogener Drähte gegenüber geglühten beobachtet. Die Kernzone zeigte der Randzone gegenüber eine größere Löslichkeit.

Versuchsstücke dieser Drähte wurden in Längs- und Querschnitt, Härteproben mit dem Shoreschen Skleroskop unterworfen. Dabei zeigte sich sowohl ein vom Rand nach dem Drahtkern zunehmendes Ansteigen der Härte, als auch das Vorhandensein verschiedener Härtegrade für die gleichen Zonen in Längs- und Querschnitt.

Auf Grund zweier Versuchsreihen, ausgeführt an Drähten der Proben B und C (von Walzdraht 5,5 mm abgezogen) wurde für die Ermittlung der Gesamtbruchfestigkeitswerte aller von einem Walzdraht abgezogenen Drähte ein logarithmisch-graphisches Verfahren angegeben. Dasselbe basiert zunächst auf der Beobachtung, daß die Stetigkeit der Bruchfestigkeitserhöhung beim Ziehprozeß sowohl bei Walzdraht wie bei von demselben stammenden Glühdrähten erst nach Erreichung einer ganz bestimmten Festigkeit eintritt, die der Bruchfestigkeit des Walz- bzw. Glühdrahtes, bezogen auf den Querschnitt zu Beginn der Kontraktion beim Zugversuch entspricht; sodann gründet sich das Verfahren auf die Beobachtung, daß die in logarithmischer Aufzeichnung in Funktion der Drahtstärken aufgetragenen Schaubilder der Gesamtbruchfestigkeitswerte parallele oder doch nahezu parallele Geraden darstellen.

An den entsprechenden Drähten der gleichen Proben wurden Bruchbiegeversuche angestellt, wobei sich ergab, daß sowohl bei der Biegung von Drähten gleichen Durchmessers um Zylinder von verschiedenen Radien, als auch bei der Biegung von Drähten verschiedenen Durchmessers um Zylinder von gleichem Radius die Biegezahlen, aufgetragen in Funktion der Krümmungsdurchmesser, sich auf Parabeln höherer Ordnung bewegen, in logarithmischer Darstellung also auf geraden Linien liegen. Die Parallelität dieser Linien für geglühte und ungeglühte Drähte gleichen Durchmessers wurde als Grundlage eines logarithmisch-graphischen Verfahrens zur Ermittlung der Bruchbiegezahlen aller von einem und demselben Walzdraht stammenden Drähte gewählt. Die Durchführung des Verfahrens wurde durch die Beobachtung vervollständigt, daß sich für alle von einem Walzdraht stammenden Drähte gleichen Durchmessers die Biegezahlen umgekehrt verhalten wie die spezifischen Bruchfestigkeiten dieser Drähte.

Die ermittelten Wechselbeziehungen über Biegung und Bruchfestigkeit gelten für Züge von Drähten, die ein und demselben Walzdrahtring entstammen, dürften aber ebenso auch im großen und ganzen für die Drähte ein und derselben Charge, ja ein und derselben Materialzusammensetzung ihre Gültigkeit behalten.

Gedruckt bei August Bagel in Düsseldorf.